



TUGAS AKHIR - ME 141502

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CLUMP BUOY PADA SYSTEM
MOORING PLATFORM PLTAL LAUT DALAM**

FAVI AININ FITRIA

NRP: 0421144000011

Dosen Pembimbing :

Irfan Syarif Arief, ST., MT

Achmad Baidowi, ST., MT

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TUGAS AKHIR - ME 141502

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CLUMP BUOY PADA SYSTEM
MOORING PLATFORM PLTAL LAUT DALAM**

**FAVI AININ FITRIA
NRP: 0421144000011**

**Dosen Pembimbing :
Irfan Syarif Arief, ST., MT
Achmad Baidowi, ST., MT**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - ME 141501

**STUDY THE EFFECT OF CLUMP BUOY'S ADDITION TO MOORING
SYSTEM PLTAL PLATFORM ON DEEP WATER**

FAVI AININ FITRIA

NRP: 04211440000011

Supervisor :

Irfan Syarif Arief, ST., MT

Achmad Baidowi, ST., MT

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2018

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CLUMP BUOY PADA SYSTEM
MOORING PLATFORM PLTAL LAUT DALAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
FAVI AININ FITRIA
NRP 0421144000011

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Irfan Syarif Arief, ST., MT
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

Achmad Baidowi, ST., MT
NIP.



Surabaya, Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CLUMP BUOY PADA SISTEM MOORING PLATFORM PLTAL LAUT DALAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Favi Alvin Fitria
NRP 0421144000011

Disetujui Oleh

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Surabaya
Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CLUMP BUOY PADA SYSTEM MOORING PLATFORM PLTAL LAUT DALAM

Nama : Favi Ainin Fitria
NRP : 0421144000011
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Irfan Syarif Arief, ST., MT
Achmad Baiodowi, ST., MT

ABSTRAK

Abstrak- Pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL) merupakan salah satu struktur terapung atau platform yang berguna untuk kegiatan eksplorasi energi laut di lepas pantai. Selama masa pengoperasian Platform PLTAL sebagaimana bangunan terapung lainnya akan menerima beban lingkungan diantaranya angin, arus, dan gelombang. Untuk menjaga platform agar tetap pada posisinya maka dibutuhkan sistem tambat (*mooring system*) yang berguna untuk mengikat platform. Sebagaimana permasalahan sistem tali tambat pada perairan dalam adalah Gaya tegangan (*Tension*) yang tinggi dan potensi tabrakan (*Clashing*) pada mooring line. Penelitian ini membahas tentang pengaruh penambahan *Clump buoy* pada mooring system dengan variasi peletakan *clump buoy* yakni 40%, 50%, dan 60% terhadap panjang mooring line yang bertujuan mengurangi tension tali tambat dan letak optimum clump buoy terhadap *mooring line* saat kondisi beban collinear 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°. Dari hasil yang didapatkan setelah penambahan *clump buoy* kemudian dibandingkan dengan nilai tension sebelum ditambahkan *clump buoy*. Dari perbandingan tersebut diketahui bahwa penambahan clump buoy memberikan pengaruh tension yang lebih kecil pada mooring line. Kemudian dari variasi peletakan clump buoy, posisi optimum untuk mendapatkan nilai tension yang kecil yaitu terletak di posisi antara 50%-60% terhadap mooring line. Pada analisa ini juga tidak terjadi clashing pada mooring line.

Kata Kunci : *clump buoy*, PLTAL platform, Catenary mooring system, deep water.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY THE EFFECT OF CLUMP BUOY'S ADDITION TO MOORING SYSTEM PLTAL PLATFORM ON DEEP WATER

Name Of Student : Favi Ainin Fitria
Reg Number : 042114400000011
Department : Department Of Marine Engineering
Supervisors : Irfan Syarif Arief, ST., MT
Achmad Baiodowi, ST., MT

ABSTRACT

Abstract – Sea current energy power plant is one of many floating structure or platforms that are used to assist any offshore ocean energy exploration activities. The sea current energy power plant will receive environmental forces such as wind, current, and waves just like any other form of platforms during its operation. A mooring system that is used to tie the platform is mandatory to keep the platform at its appropriate position at all time. High tension and mooring line clashing are the most common problems found in the mooring system in deep water. This research will be discussing about the effect of Clump buoy addition on mooring system with clump buoy placement variation at 40%, 50%, and 60% to the length of the mooring line that aim to decrease the mooring line tension, and also to determine the optimum clump buoy position to the mooring line during 0o, 45o, 90o, 135o, and 180o collinear load condition. The result in the tension after the addition of clump buoy and before the addition are then compared to each other. From the result of the comparison, it determined that the clump buoy addition results in a decreased mooring line tension. Subsequently, from the variation of clump buoy placement, it is determined that 50%-60% to the mooring line is the optimum clump buoy placement to the mooring line that results in a smaller tension. Clashing on the mooring line also did not occur in this analysis.

Keyword : clump buoy, PLTAL platform, Catenary mooring system, Deep water.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa saya ucapkan ke junjungan Nabi besar Muhammad Rasulullah SAW.

Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Kepada Tuhan yang maha Esa yang selalu memberikan kemudahan untuk saya.
- Bapak M. Nur Hasyim, Ibu Siswati, sebagai Orang tua saya yang selalu mendukung dan menjadi penyemangat hidup yang selalu berdoa untuk saya.
- Kakek, Nenek, Om, Tante serta segenap keluarga yang selalu mensupport dan mengajarkan pengalamannya hingga menjadi saya yang sekarang
- Bpk. DR. Eng. M. Badrus Zaman, ST.,MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
- Bpk. Ir. Agoes Santoso,M.Sc.,M.Phil. Selaku Dosen wali.
- Bpk. Irfan Syarif Arief, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I yang selalu mendukung saya dalam mengerjakan Tugas Akhir.
- Bpk. Achmad Baidowi, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang selalu bersabar meluangkan waktu membimbing dan mendukung saya selama mengerjakan Tugas Akhir
- Mbak Rindu Fajar Kusuma Sebagai teman seperjuangan yang selalu menemani saya dalam suka maupun duka.
- Staff dan member Lab MMD Rumpi, Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2015 semester genap.
- Mas Arief R. Suwandi, Mas Chandra Lintang yang sudah banyak sharing ilmu dengan saya.
- Tsania Salsa Biela , Adik saya yang selalu membuat saya ingin pulang
- Mercusuar 14 Serta seluruh orang yang mendukung terselesaikannya tugas akhir ini.

Semoga dengan selesainya Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan serta ilmu yang bermanfaat bagi para pembaca sekalian.

Akhir kata terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018
Penyusun.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	i
ABSTRCT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penulisan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Potensi Energi Arus Laut	5
2.2 Teknologi PLTAL	5
2.3 Teori Bangunan Apung	7
2.4 Faktor- Faktor non-linear	23
2.5 Sistem Tambat (Mooring System)	25
BAB III METODOLOGI.....	31
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	31
3.2 Prosedur Penelitian.....	32
Studi Literatur	32
Pengumpulan Data	32
Data Existing	32
Perancangan Mooring line arrangement dan penambahan <i>clump buoy</i>	32

Simulasi model pada orcaflex	32
Analisa tension pada mooring line	33
3.3 Pengumpulan Data	33
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Permodelan Struktur	41
4.2 Permodelan Lambung	43
4.3 Analisa Perilaku Lambung <i>Floating Platform</i>	47
4.4 Permodelan struktur Platform PLTAL pada OrcaFlex	54
4.5 Permodelan Mooring System dengan variasi peletakan Clump buoy	55
4.6 Analisa Moorin Tension dan Excursion Pada mooring system	59
4.7 Analisa Excursion pada Platform PLTAL	69
BAB V KESIMPULAN.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	71
Daftar Pustaka	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data struktur ukuran utama PLTAL	33
Tabel 2. Tinggi gelombang selat Toyapakeh Nusa Penida – Bali	36
Tabel 3. Data Lingkungan nilai maksimum	36
Tabel 4. Data Tinggi gelombang signifikan tiap arah mata angin	36
Tabel 5. Tabel Spesifikasi tali tambat	38
Tabel 6. Spesifikasi buoy	38
Tabel 7. Data struktur ukuran utama PLTAL	41
Tabel 8. Table hasil perhitungan dengan solidwork	47
Tabel 9. Resume nilai RAO tertinggi kondisi operasional lambung floating platform saat terapung bebas (free floating)	54
Tabel 10. Ukuran Utama Platform PLTAL.....	54
Tabel 11. Displasmen dan COG Platform.....	54
Tabel 12. Momen Inersia dan jari-jari girasi.....	55
Tabel 13. Tabel perhitungan mooring line	56
Tabel 14. Table koordinat penggambaran mooring system	58
Tabel 15. Tension mooring line kondisi linear 0°	59
Tabel 16. Tension Line Spread Mororing Kondisi 90° Colinier.....	63
Tabel 17. Tabel Kondisi Heading 135°	65
Tabel 18. Tension Line Spread Mororing Kondisi 180° Colinier.....	67
Tabel 19. Analisa Excursion pada Platform PLTAL	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mooring line side view	3
Gambar 2. Maccam macam turbin air laut.	5
Gambar 3. Horizontal axis turbine	6
Gambar 4. Vertical axes turbin	6
Gambar 5. Gambar desain PLTAL front view	6
Gambar 6. Platform PLTAL prespective view.....	7
Gambar 7. Bagian-bagian kapal	7
Gambar 8. Penampang transversal kapal	8
Gambar 9. Lines Plan Kapal	8
Gambar 10. Jenis-jenis Hull	9
Gambar 11. Ukuran Utama Kapal	10
Gambar 12. kondisi titik-titik keseimbangan saat kapal tenang.....	11
Gambar 13. Stabilitas benda terapung.....	12
Gambar 14. Gelombang bergerak sepanjang kanal.....	13
Gambar 15. Contoh gerakan six degree of freedom pada platform	14
Gambar 16. Silinder terapung pada medan propagasi.....	14
Gambar 17. Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan Apung	20
Gambar 18. Calculation of motion response spectra for floating structure	22
Gambar 19. Contoh spread mooring system	26
Gambar 20. Catenary Mooring line.....	26
Gambar 21. Minimum Length of Mooring Line	27
Gambar 22. Configuration of HMSWB	30
Gambar 23. Gambar Linesplan Floating Platform	34
Gambar 24. General arragement Tampak Depan.....	34
Gambar 25. General arragement Tampak Atas	34
Gambar 26. General arragement Tampak Samping.	35
Gambar 27. Diagram Windrose Kecepatan Angin Selat Toyapakeh.....	35
Gambar 28. Current Rose Di Lokasi PLTAL	36
Gambar 29. Arah Pembebanan Yang Di Gunakan Colinier	37
Gambar 30. Arah pembebanan Angin Yang di Gunakan Non Colinier.....	37
Gambar 31. Arah pembebanan Arus Yang di Gunakan Non Colinier.....	37
Gambar 32. Arah pembebanan Arus Yang di Gunakan Non Colinier.....	38
Gambar 33. Mooring system side view.....	39
Gambar 34. Gambar Linesplan Floating Platform	41
Gambar 35. General arragement Tampak Depan.....	42
Gambar 36. General arragement Tampak Atas	42
Gambar 37. General arragement Tampak Samping	42
Gambar 38. Pemodelan Struktur Lambung Floating Platform	43
Gambar 39. Pemodelan Maxsuf Pandangan Samping	43
Gambar 40. Pemodelan Maxsuf Pandangan Atas	44

Gambar 41. Pemodelan Maxsurf Pandangan Prespective.....	44
Gambar 42. Output Hydrostatic Maxsurf Muatan Penuh.....	45
Gambar 43. Permodelan menggunakan Software solidwork	46
Gambar 44. Pemodelan Lambung Tampak Samping	46
Gambar 45. Pemodelan dengan Moses	47
Gambar 46. Model Platform	55
Gambar 47. Perhitungan catenary Mooring line	56
Gambar 48. Grafik bentuk catenary mooring line	57
Gambar 49. Lay out mooring system (side view).....	57
Gambar 50. Layout mooring system (top View)	58
Gambar 51. Heading 0o Collinear	59
Gambar 52. Grafik Tension Tali Tambat Nylon pada collinear 0°	60
Gambar 53. Chain Tension at heading 0 degree	60
Gambar 54. Spread Mooring Line 45° Kondisi Collinier.....	61
Gambar 55. Grafik Tension Tali Tambat 45°	63
Gambar 56. Gambar 4.28. Spread Mooring Line 135° Kondisi Collinier	65
Gambar 57. Grafik Tension Tali Tambat 135°	66
Gambar 58. Tension Line Spread Mororing Kondisi 180° Colinier.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A - Data Lisplane dan General arrangement

LAMPIRAN B - Data Output Moses Dan OcrcaFlex

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber daya energi merupakan hal utama dan menjadi salah satu sumber terpenting sebagai pendorong pertumbuhan ekonomi dalam perindustrian Dunia. Dalam aktivitas sehari-hari tidak ada satupun elemen masyarakat yang lepas dari kebutuhan energi. Seiring berjalannya waktu, energi merupakan masalah serius yang menjadi perbincangan Publik. Meningkatnya jumlah populasi sangat berpengaruh pula terhadap permintaan jumlah energi yang besar, sehingga menyebabkan menipisnya sumber cadangan minyak dunia dan bahan bakar fosil. Menurut Wakil Menteri Energi dan Sumber Daya (ESDM) Arcandra Tahar mengatakan, saat ini Indonesia memiliki cadangan minyak bumi 3,3 miliar barel. Dengan asumsi produksi konstan 800.000 per hari tanpa adanya temuan cadangan baru, maka dalam 11 hingga 12 tahun ke depan Indonesia tidak mampu memproduksi minyak bumi lagi. Oleh karena itu, keterbatasan sumber daya energi menjadi kendala yang dapat menghambat laju pertumbuhan ekonomi dan industri di kemudian hari

Menurut Lembaga IEA yang merupakan forum energi dari Negara penghasil minyak mengatakan bahwa Pada tanggal 23 Juni 2011, negara-negara anggota IEA yang berjumlah 28 negara sepakat untuk menyediakan sejumlah 60 juta barel minyak ke pasar yang diambilkan dari cadangan darurat dari 8 anggota IEA yang memiliki cadangan penyangga cukup besar. Sejumlah 38 juta barel berasal dari cadangan publik. Demikian pula sejumlah 22 juta barel minyak juga disediakan melalui penurunan kewajiban alokasi cadangan penyangga sektor industri. Sejumlah 40 juta barel cadangan darurat adalah dalam bentuk minyak mentah sementara sejumlah 20 juta barel dalam bentuk hasil produk kilang. dengan demikian tidak dapat dipungkiri jika harga minyak semakin mahal. Sebagai salah satu upaya untuk menghemat bahan bakar minyak adalah mengolah sumber daya alami sebagai sumber daya alternatif maupun sumber daya energi terbarukan.

Energi Alternatif merupakan istilah yang sering digunakan untuk merujuk pada semua energi yang dapat digunakan dan bertujuan untuk mengganti bahan bakar konvensional. Energi alternatif sangat dibutuhkan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui. Dari segi pemakaiannya, sumber energi dibagi menjadi dua macam yaitu energi primer dan energi sekunder. Energi primer merupakan sumber yang langsung bisa digunakan, sedangkan energi sekunder merupakan energi yang harus diolah terlebih dahulu untuk mengkonversi menjadi energi. misal air terjun apabila dipasang pembangkit listrik maka hasil olahannya menjadi energi listrik

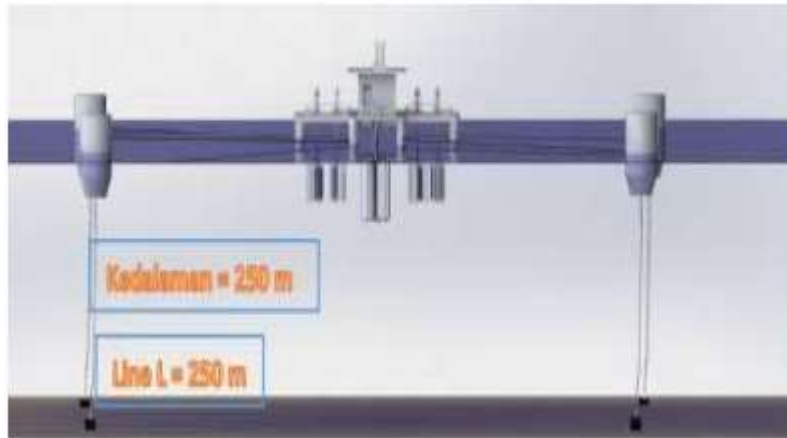
Berbicara mengenai energi listrik, masih banyak wilayah Indonesia yang memiliki kesulitan dalam mendapatkan akses listrik terutama daerah pesisir, sehingga perlu mendapatkan perhatian lebih pada keadaan masyarakat di pesisir pantai. Indonesia dengan total luas lautan hampir 8 juta km² dengan potensi sector laut yang berlimpah berusaha untuk meningkatkan inventarisasi sumber daya non hayati dimana salah satunya berupa potensi energi arus laut. Energi arus laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil, akan tetapi pemanfaatan arus laut di wilayah pesisir pantai masih kurang optimum.[]

Penelitian dan pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga arus laut juga sesuai dengan Rencana Strategis (Renstra) Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral 2010 – 2014. Pada Renstra tersebut disebutkan bahwa salah satu sasaran strategis yang terkait dengan tujuan terjaminnya pasokan energi dan bahan baku domestik adalah meningkatnya pengembangan berbagai sumber energi dalam rangka diversifikasi energi, yaitu dengan mendorong pembangunan pembangkit listrik selain pembangkit berbahan bakar minyak. Selain itu, energi arus laut sebagai salah satu energi baru dan terbarukan dapat dimanfaatkan untuk memecahkan masalah energi listrik di wilayah kepulauan sehingga dapat mendukung usaha mewujudkan Indonesia menjadi negara kepulauan yang mandiri dan maju.

Seiring berjalannya waktu, perkembangan teknologi eksplorasi yang awalnya menggunakan struktur terpancang saat ini sudah mulai ditinggalkan dan beralih kepada struktur terapung. Teknologi struktur terapung ini memiliki kelebihan dibandingkan struktur terpancang karena dinilai lebih ekonomis dan dapat dimanfaatkan kembali setelah masa operasinya selesai. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) merupakan salah satu struktur terapung atau platform yang digunakan untuk kegiatan eksplorasi energi laut di lepas pantai. Platform PLTAL memiliki fungsi mengubah energi arus laut menjadi energi listrik dengan memanfaatkan putaran turbin yang tercelup kedalam laut, dimana dari perputaran turbin akan dikonversi menjadi energi listrik yang kemudian dapat disalurkan dan digunakan untuk kebutuhan masyarakat.

Pada saat pengoperasiannya, Platform PLTAL mengalami pergerakan yang disebabkan oleh beban-beban lingkungan seperti gelombang laut, angin, dan arus dari berbagai arah. Platform PLTAL ini sebisa mungkin beroperasi dengan pergerakan platform yang minimum karena akan berpengaruh terhadap kinerja turbin. Untuk menjaga platform agar tetap pada posisinya, maka dibutuhkan sistem tambat (*mooring system*) yang berguna sebagai pengikat platform supaya platform tetap berada di posisi *fix heading* dan meredam pergerakan dari platform.[] Jenis sistem mooring yang digunakan pada platform ini adalah tipe spread mooring. Sistem ini merupakan sistem tambat dengan multiple mooring legs yang dipasang menyebar pada bagian bow dan stern platform. Spread sistem ini merupakan sistem yang cocok untuk sarana tambat platform PLTAL dikarenakan posisi tali yang menyebar sehingga dimungkinkan tidak mempengaruhi kinerja turbin.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa dinamika sistem tambat sangat kuat tergantung pada parameter desain tertentu, seperti jumlah mooring line, Posisi fairlead, material, orientasi, pretensi tali . Pada analisa sebelumnya, desain mooring lines menggunakan *spread mooring* yaitu sistem mooring yang tersebar dengan kombinasi nilon dan chain yang dapat dilihat pada gambar 1. Dari sistem tersebut didapatkan nilai tension terbesar yang dialami tali tambat pada struktur platform katamaran PLTAL diakibatkan oleh beban gelombang ekstrim dalam kondisi collinier adalah sebesar 327,04 kN pada nylon rope dan 437,62 kN pada chain. beban ini dianggap masih terlalu besar dan dikhawatirkan dapat mengurangi masa hidup mooring akibat tegangan yang masih terlalu tinggi.



Gambar 1. Mooring line side view

Sumber : laporan ded PLTAL selat Toyapakeh.

Dengan ukuran Platform yang kecil dan kedalaman laut sekitar 250 m dapat dikatakan platform tersebut berada pada deep water. Permasalahan mooring system pada deep water adalah tension dan offset pada platform. Sistem struktur terapung pada laut dalam, biasanya terdiri dari 3 komponen utama yaitu diantaranya: *mooring line*, *anchored*, dan *floating vessel*. Pada keadaan laut yang dalam, sistem mooring yang nyaman digunakan adalah tipe catenary mooring line. penerapan yang sedang populer saat ini yaitu Hybrid mooring system with clump weight and buoys (HMSWB). Dibandingkan dengan sistem yang lain sistem ini dapat memberikan tension yang lebih kecil, sehingga dapat menambah nilai ekonomis pada penerapannya.

Clump Buoy merupakan hasil dari penerapan *Hybrid Mooring System With Clump Weights And Buoys* (HMSWB) dimana dengan menerapkan penambahan Buoy pada mooring line. Daya apung pelampung ini akan melawan gaya gravitasi dan akibatnya Ketegangan/Tension pada mooring line dapat dikurangi. Sudut antara garis air dengan mooring line juga berkurang. Jadi Horizontal restoring force yang disediakan oleh mooring line dapat ditingkatkan ketika restoring forces pada arah vertical berkurang.

Pada penelitian ini akan menganalisa karakteristik akibat penambahan clump buoy pada mooring arrangement tipe catenary mooring line yang diterapkan pada platform PLTAL Toya pakeh, Nusa penida- Bali. Pada analisa ini akan dilakukan variasi pelatakan clump buoy dengan posisi perbandingan 40%, 50%, dan 60% terhadap panjang mooring line. Analisa variasi posisi clump buoy ini dilakukan pada saat kondisi beban collinear. Kondisi collinier disini adalah diasumsikan jika arah datang beban dianggap searah yaitu dari arah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Hasil yang didapatkan pada analisa ini berupa nilai gaya tegang tali tambat (tension) dan excursion yang terjadi pada mooring arrangement pada variasi peletakan clump buoy terhadap mooring line. kemudian dari variasi tersebut akan dibandingkan nilai tension dan excursion serta akan didapatkan posisi optimum peletakan clump buoy yang dilihat dari nilai *tension*, analisa *clashing* dan *excursion* yang lebih kecil.

1.2 Perumusan Masalah

Sistem struktur terapung pada laut dalam, biasanya terdiri dari 3 komponen utama yaitu diantaranya: *mooring line*, *ancore*, dan *floating vessel*. Sebagaimana permasalahan sistem tali tambat pada perairan dalam adalah Gaya tegangan (*Tension*) yang tinggi dan potensi trabrakan (*Clashing*) pada *mooring line*. Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh Penambahan *Clump Buoy* Pada Sistem *Mooring Platform* PLTAL Laut Dalam khususnya pada Nilai *tension* dan *excursion*?
2. Pada jarak berapakah posisi peletakan *clump* untuk mendapatkan jarak optimum terhadap panjang *mooring line*?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh Penambahan *Clump Buoy* Pada Sistem *Mooring Platform* PLTAL Laut Dalam
2. Mengetahui jarak penempatan *Clump Buoy* terhadap *mooring line* untuk mendapatkan nilai optimum.
3. Untuk mendapatkan *Tension* lebih kecil dan menghindari terjadinya *clashing* antar *mooring line*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Analisa hanya difokuskan pada sambungan bagian *Chain*.
2. Menggunakan kondisi beban lingkungan selat Toyapakeh Nusa Penida-Bali berupa arus, gelombang, angin.
3. Pembebanan dinamis tidak di perhitungkan.
4. Analisis gerakan lambung *floating platfrom* adalah *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*.
5. Standard rules tugas akhir ini mengacu ABS class.
6. Arah datang gelombang 0°, 45°, 90°, 135°, 180°.
7. Analisis dinamis menggunakan simulasi *time to domain* metode untuk mencari *tension* dari sistem tambat.
8. Analisa dilakukan hanya pada beban arah Collinear.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai bahan pembelajaran untuk mengetahui manfaat dari pengaruh penambahan *clump buoy* pada sistem *mooring Floating platform*.
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk mengetahui terjadinya benturan antar *mooring line* akibat dari beban lingkungan.
3. Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pembuatan perencanaan *mooring line* pada platform PLTAL.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Energi Arus Laut

Listrik merupakan kebutuhan yang tidak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari. Pertumbuhan populasi yang semakin meningkat juga menyebabkan permintaan terhadap listrik semakin meningkat. Pembangkit listrik dikembangkan dalam berbagai eksplorasi energi, salah satunya yaitu tenaga arus laut. Pembangkit listrik tenaga arus laut merupakan energi baru dan terbarukan yang menjanjikan dengan kecilnya efek terhadap lingkungan dan kapasitas energi tinggi.

Daerah yang baik untuk memproduksi listrik tenaga arus laut adalah yang memiliki arus yang harus lebih besar dari 2 m/s selama pasang-surut yang merupakan rata-rata dari 1,5 kW/m² per siklus air pasang (dengan hipotesis dari variasi sinusoidal di saat ini, rata-rata selama siklus dari kecepatan adalah dari 4 kali dari kecepatan maksimum dicapai selama pasang – surut). Evaluasi kekuatan rata-rata energi tenaga air terkait dengan arus pasang-surut rata-rata di pasang di musim semi, khususnya menunjukkan daerah yang baik untuk memproduksi dalam masa pelaksanaannya. Yang dinyatakan dalam satuan kW/m².[]

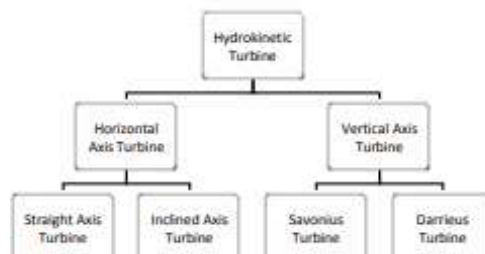
Oleh karena itu energi listrik tenaga air tergantung dari daerah yang bersangkutan. Misal dengan jarak beberapa kilometer saja arus yang dihasilkan juga bervariasi besarnya. Demikian pula yang prediktabilitas dan kurangnya variabilitas musiman.

2.2 Teknologi PLTAL

2.2.1 Turbin

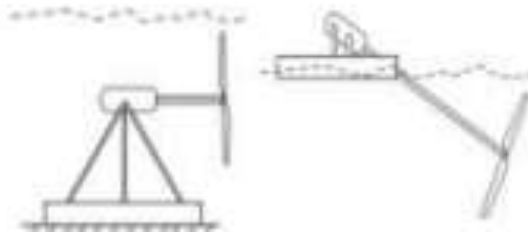
Arus laut secara umumnya dibentuk oleh adanya pasang surut dan sedikit dipengaruhi oleh perbedaan massa jenis dan temperature pada air laut itu sendiri. Perpindahan air laut membawa air dalam jumlah yang sangat besar baik ke arah laut atau ke arah darat yang dinamakan pasang-surut dengan periode setengah hari atau satu hari tergantung lokasi. Eksploitasi energi arus laut menggunakan perangkat turbin.

Cara kerja dari turbin tersebut adalah turbin diputar oleh arus laut putaran turbin tersebut, digunakan untuk membangkitkan energi listrik generator, ada beberapa jenis turbin digunakan untuk mengkonversi energi arus laut seperti gambar dibawah ini. Sistem pembangkit ini bekerja dengan memanfaatkan aliran fluida menjadi energi kinetik pada turbin menjadi energi yang bermanfaat. Gambar 2.



Gambar 2. Maccam macam turbin air laut.

Dari bagan diatas turbin air dibagi menjadi 2 macam, yaitu terbagi berdasarkan arah putaran turbin yaitu horizontal axis dan turbin vertical axis. Turbin horizontal axis berputar terhadap sumbu horizontalnya, Jenis turbin ini dibagi menjadi 2 , yaitu straight axis turbine yang poros turbinnya sejajar dengan sumbu x nya, dan inclined axis yang poros turbinnya mempunyai sudut kemiringan tertentu dengan sumbu x-nya.



Gambar 3. Horizontal axis turbine

Sementara vertical axis turbine dibagi menjadi 3 jenis turbin yaitu, savonnius turbine, darrieus turbine dan h-rotor turbine. Ketiga jenis turbin itu dibedakan berdasarkan jenis blade-nya.



Gambar 4. Vertical axes turbin

2.1.2 Platform PLTAL

Bentuk lambung pada haluan di atas garis air memiliki bentuk yang ramping memiliki volume yang tidak terlalu besar. Dengan bentuk haluan semacam itu akan memberi dampak ketika mengalami gerakan *pitching*. Ketika terjadi gelombang yang terjadi di sekitar haluan dan ketika slamming maka gelombang laut akan menghantam dari platform dan membahayakan dari konstruksi platform dengan bentuk yang ramping.



Gambar 5. Gambar desain PLTAL front view



Gambar 6. Platform PLTAL prespective view

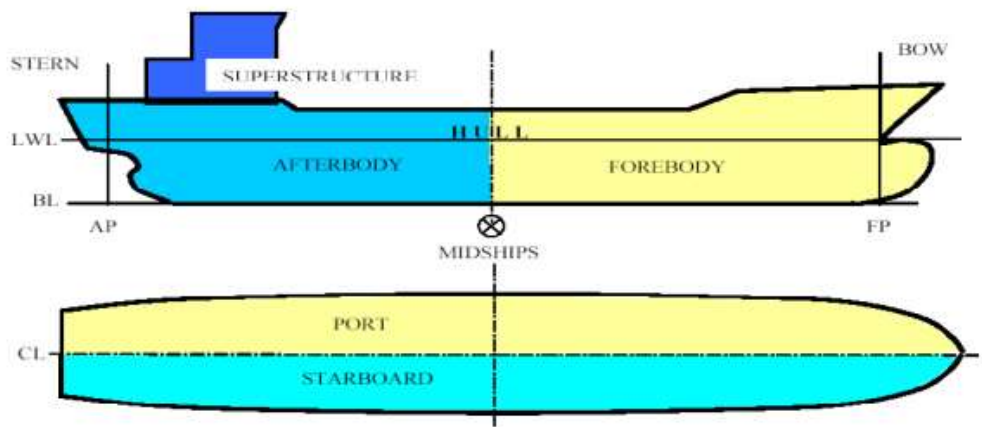
2.3 Teori Bangunan Apung

Semakin canggihnya teknologi yang dikembangkan manusia membuat manusia tidak puas akan keberhasilannya. Dahulu untuk eksplorasi minyak dan gas masih menggunakan platform yang di tanam di dasar laut. Hal tersebut akan memakan banyak biaya dan mempertimbangkan waktu pengoperasian rig, kekuatan stuktur dan biaya mainteanance. Saat ini teknologi berkembang sudah meninggalkan bentuk struktur yang tertanam dan digantikan dengan struktur terapung.

Bicara bangunan sejatinya teori awal dari bangunan - bangunan apung merupakan pengembangan dari teori bangun kapal. Bahwa sejatinya baik semi-submersible, TLP, spar maupun tanker dan barge merupakan sebuah struktur yang tidak bisa dipisahkan dari bangunan kapal.

2.1.3 Konsep Geometri

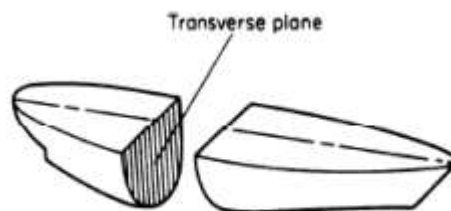
Bentuk utama dari kapal pada umumnya yang diilustrasikan pada gambar adalah sebuah lambung yang dilengkapi bangunan atas/superstructure sebagai berikut :



Gambar 7. Bagian-bagian kapal

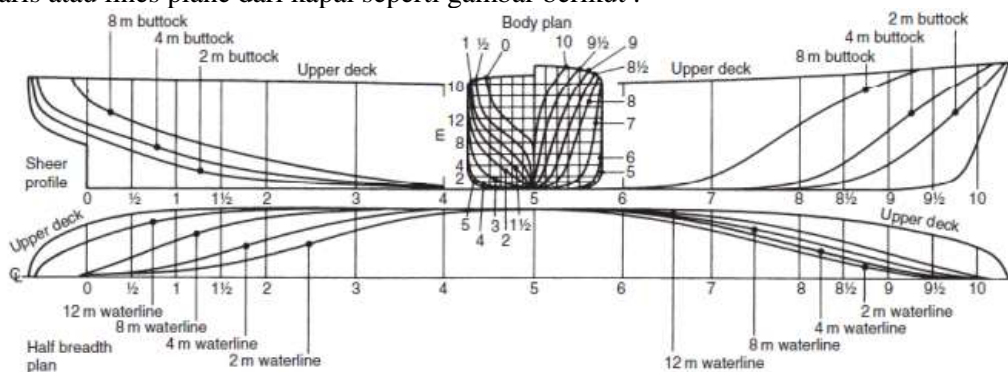
Dari gambar kita bisa melihat bahwa bagian depan kapal disebut Bow dan belakang kapal disebut Stern. Kemudian lambung kapal disebut Main Hull dan dasar kapal disebut Keel. Bagian sisi kiri kapal diberi index port dan bagian sisi kanan kapal di beri index starboard. Beberapa kapal pada umumnya memiliki bentuk simetri dengan sebuah garis yang membagi bidang simetri tersebut yang disebut middle line atau center line. Untuk memahami sebuah kapal, biasanya karena efek dari superstructure ini belum terlalu signifikan, sebuah kapal digambarkan dengan sebuah kurva 3 dimensi yang kedap air yang menyusun lambung kapal/ Main Hull saja. Penampang tampak samping (seperti pada gambar 2 atas) biasa disebut dengan sheerplan dan penampang tampak atas (gambar 2 bawah) biasa disebut half breadth plan.

Selanjutnya kita akan masuk lebih dalam dari konsep geometri kapal. Untuk memahami sebuah kapal, dikenal istilah potongan - potongan bidang pada semua sumbu x,y dan z. Biasanya arah memanjang kapal diwakili sumbu x, melebar kapal diwakili sumbu y dan arah vertikal kapal diwakili sumbu z. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2. Kemudian potongan potongan tersebut kita beri nama sebagai berikut :



Gambar 8. Penampang transversal kapal

Begitu juga seterusnya dengan membayangkan kapal tersusun dalam bidang bidang water plane dan middle line plane maka kita dapat memahami sebuah gambar rencana garis atau lines plan dari kapal seperti gambar berikut :



Gambar 9. Lines Plan Kapal

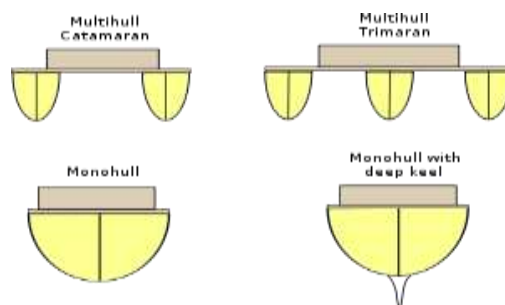
Body plane adalah gabungan kurva kurva yang menyusun bidang transversal kapal atau dengan pemahaman sederhana kita melihat kapal dari depan atau belakang. Bagian kanan body plane menunjukkan bidang bidang yang ada di depan midship sedangkan bagian kiri menunjukkan bidang - bidang yang

ada dibelakang midship. midship adalah bagian tengah kapal dilihat dari sisi memanjang. Jika kita perhatikan gambar 5, bagian sheer plan, midship terletak diantara titik AP dan FP atau jarak $AP-FP/2$. Lanjut pada gambar sheer plane kita melihat bagian terpanjang dari kapal yaitu bagian middle line plane. Kemudian pada half breadth plan kita melihat kapal dari arah sumbu z atau dari atas/bawah kapal. Untuk memahami ini coba berhenti membaca sejenak dan gunakan imajinasi anda untuk melihat gambar tersebut.

2.1.4 Lambung Kapal (Hull)

Hull atau lambung kapal adalah bentuk dari badan kapal yang menyeiakan daya apung pada kapal untuk mencegah kapal agar tidak tenggelam. Perancangan lambung kapal adalah hal yang penting karena perencanaan lambung merupakan dasar dari perhitungan stabilitas kapal, tahanan kapal, keceoatan kapal, besarnya mesin serta muatan kapal yang menjadi pokok utama da nada kaitannya dengan oerairan yang akan di lalui oleh kapal. Adapun jenis-jenis bentuk lambung kapal sebagai berikut. Gambar 10.

- A. Monohull merupakan jenis lambung kapal yang hanya memiliki satu lambung utama kapal.
- B. Multihull Katamaran termasuk jenis kapal *multihull* dengan dua lambung yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Struktur *bridging* ini merupakan sebuah keuntungan katamaran karena menambah tinggi lambung timbul (*freeboard*).



Gambar 10. Jenis-jenis Hull

Sumber: Jurnal “Studi Perbandingan Perencanaan Kapal Katamaran dan Monohull Sebagai Kapal Riset di perairan Bengkalis Riau.

2.1.5 Ukuran Utama Kapal

- A. *Length Between Perpendicular* (Lpp)

Panjang kapal yang menghubungkan antara dua garis tegak yaitu jarak horizontal antara garis tegak depan/haluan/FP dengan garis tegak belakang/buritan/AP. *After Perpendicular* (AP) adalah garis tegak buritan yaitu garis tegak yang terletak berimpit pada sumbu poros kemudi, sedangkan *Front Perpendicular* (FP) adalah garis tegak haluan di mana garis tegak yang terletak pada titik potong antara linggi haluan dengan garis air pada sarat air muatan penuh yang telah direncanakan.

B. *Length of Waterline (LWL)*

Length of water line adalah panjang garis air yang diukur mulai dari perpotongan linggi buritan dengan garis air pada sarat sampai dengan pada perpotongan linggi haluan dengan garis air/FP (jarak mendatar antara kedua ujung garis muat)

C. *Length Over All (Loa)*

Length over all adalah panjang keseluruhan kapal yang diukur dari ujung bagian belakang kapal sampai dengan ujung bagian depan badan kapal.

D. *Breadth (B)*

Lebar kapal yang diukur pada sisi dalam pelat di tengah kapal (*amidship*).

E. *Depth (H)*

Tinggi geladak utama (*main deck*) kapal adalah jarak vertikal yang diukur pada bidang tengah kapal (*midship*) dari atas keel (lunas) sampai sisi atas geladak di sisi kapal.

F. Displacement

Displacement merupakan berat keseluruhan badan kapal termasuk di dalamnya adalah konstruksi badan kapal, permesinan dan sistemnya, elektrik dan sistemnya, furnitur dan interior, *crew* dan bawasanya, logistik, bahan bakar, pelumas, air tawar, dan muatan kapal.

G. Volume displamen

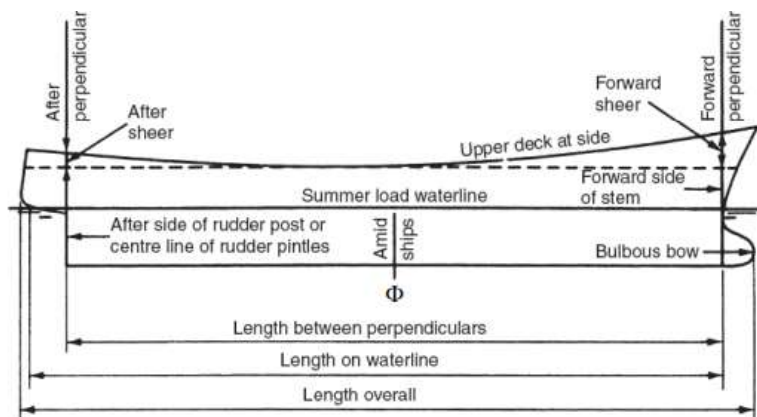
Adalah volume air yang dipindahkan oleh badan kapal termasuk kulit lambung, lunas sayap, daun kemudi, baling-baling, dsb.

H. LWT (lightweight tonnage)

LWT merupakan berat badan kapal yang tidak dapat dipindahkan seperti berat plat, berat peralatan, berat motor penggerak beserta instalasi.

I. Dead weight tonnage

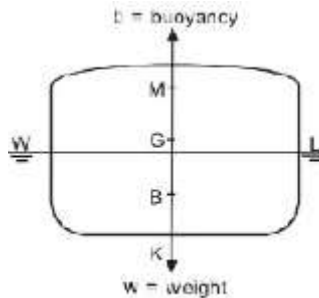
Merupakan bobot mati kapal yaitu daya angkut dari sebuah karga termasuk bahan bakar dan minyak pelumas awak kapal, dan bahan-bahan konsumable.



Gambar 11. Ukuran Utama Kapal

2.1.6 Stabilitas Kapal

Stabilitas merupakan kemampuan kapal untuk kembali pada posisi keseimbangannya. Stabilitas merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam pembangunan sebuah bangunan apung. Stabilitas yang harus diperhitungkan adalah pada saat kapal kondisi kosong, muatan penuh.[]



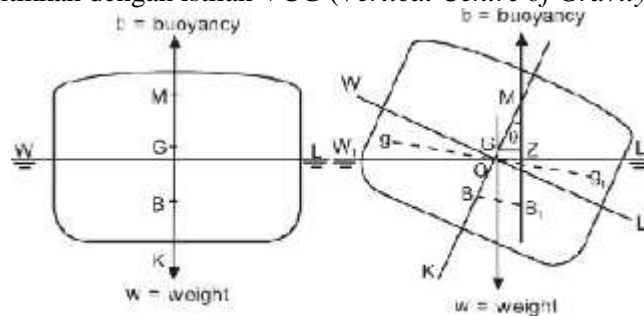
Gambar 12. kondisi titik-titik keseimbangan saat kapal tenang

Disesuaikan dengan Hukum Archimedes, ketika benda apung mengapung dalam air tenang, gaya berat benda yang arahnya ke bawah sama dengan gaya buoyancy yang arahnya ke atas. Titik-titik yang mempengaruhi stabilitas kapal yaitu sebagai berikut:

- a. Titik pusat Gravitasi (G)
Titik gravitasi merupakan titik pusat berat keseluruhan kapal atau titik tangkap gaya berat yang dipengaruhi oleh bentuk konstruksi kapal dan posisi/berat komponen yang ada.
- b. Titik pusat apung (B)
Merupakan titik pusat berat volume badan kapal di bawah garis air yang dipengaruhi oleh bentuk kapal dibawah permukaan air.
- c. Titik metasentrik (M)
Merupakan titik perpotongan antara gaya tekan ke atas pada saat even keel dengan gaya tekan ke atas pada saat kapal mengalami kemiringan. Titik M dapat digambarkan dalam suatu grafik dari sudut kemiringan kapal.
- d. Tinggi Titik Metasentrik terhadap Keel (KM)
Tinggi titik metasentrik terhadap atau di atas lunas (*keel*) adalah jumlah jarak dari *keel* ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentrik (BM) sehingga KM juga dapat dihitung dengan rumus:

$$KM = KB + BM \quad (2.1)$$
- e. Tinggi Titik Apung Terhadap Keel (KB)
Tinggi titik apung terhadap keel adalah titik *buoyancy* vertikal kapal yang diukur dari *keel* sampai titik B (apung). KB juga biasa diidentikkan dengan istilah VCB (*Vertical Centre of Buoyancy*).
- f. Tinggi Titik Berat terhadap Keel (KG)

Tinggi titik berat terhadap *keel* adalah titik berat vertikal kapal yang diukur dari *keel* sampai titik G (berat/gravitasi biasa diidentikkan dengan istilah VCG (*Vertical Centre of Gravity*)).



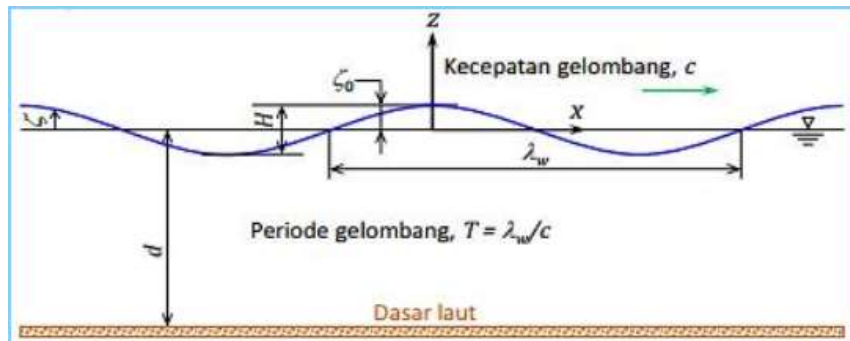
Gambar 13. Stabilitas benda terapung

Dari gambar 13. Dapat diketahui ketika kapal/platform/bangunan apung tereksitasi oleh suatu gaya dari luar, maka platform akan oleng dan setelah gaya tersebut hilang akan menimbulkan momen kopel yang menyebabkan platform kembali ke kedudukan semula. Pada saat platform oleng, gaya G dan gaya B tidak sejajar, letak titik G tidak berubah sedangkan titik B berpindah.[]

2.2 Teori Gelombang

2.2.1 Teori Gelombang Reguler

Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horisontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang linear atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dapat diterapkan. Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang yang paling sering digunakan dalam menghitung beban gelombang (*wave load*) yang terjadi pada struktur. Teori gelombang Airy juga bisa disebut dengan teori gelombang amplitudo kecil, yang menjelaskan bahwa asumsi tinggi gelombang adalah sangat kecil jika dibandingkan terhadap panjang gelombang atau kedalaman laut. Periode gelombang diasumsikan sebagai variabel konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Jadi jika di laut diukur periode gelombang adalah 10 detik, maka periodenya akan tetap 10 detik selama gelombang tersebut menjalar. Nama Teori Gelombang Airy merupakan penghargaan kepada Sir George Biddell Airy (1845) yang telah menemukan teori ini.



Gambar 14. Gelombang bergerak sepanjang kanal

adapun persamaan-persamaan yang dari teori gelombang airy adalah sebagai berikut :

- Kecepatan potensial

$$\Phi = \frac{gA \cosh k(z+d)}{\omega \cosh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2.2)$$

- Kecepatan Fluida

$$v_z = -A\omega \frac{\sinh(kz - kd)}{\sinh(kd)} \sin(\omega t - k.x) \quad (2.3)$$

- Percepatan fluida

$$a_z = -A\omega^2 \frac{k \sinh(kz + kd)}{k \sinh(kd)} \cos(\omega t - k.x) \quad (2.4)$$

- Simpangan gelombang

$$\zeta(x, t) = \zeta_0 \sin(\omega t - k_w x) \quad (2.5)$$

$$k = 2\pi/\lambda \quad (2.6)$$

$$\omega = 2\pi/T \quad (2.7)$$

Keterangan :

A = amplitudo gelombang

ω = frekuensi alami gelombang

k = Nomor gelombang

d = kedalaman laut

2.3 Teori Dasar Gerakan Bangunan apung

2.3.1 Six degree of freedom

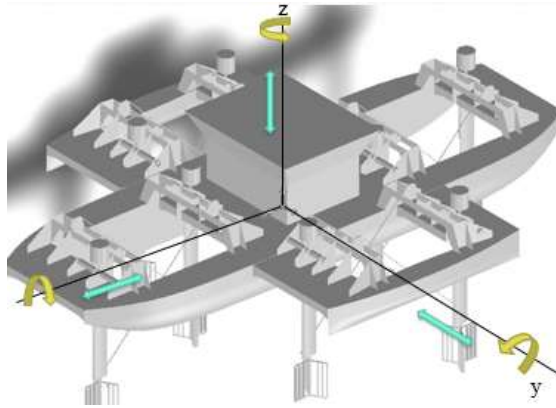
Pada dasarnya bangunan apung yang berada diatas permukaan laut akan memperoleh gaya eksitasi yang menyebabkan kapal bergerak. pergerakan dari bangunan laut ini menghasilkan 6 gerakan yang terbagi menjadi 3 gerakan rotasi, dan 3 gerakan translasi yang terbagi sebagai berikut

A. Gerakan Translasi :

- Surge : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu x
- Sway : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu y
- Heave : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu z

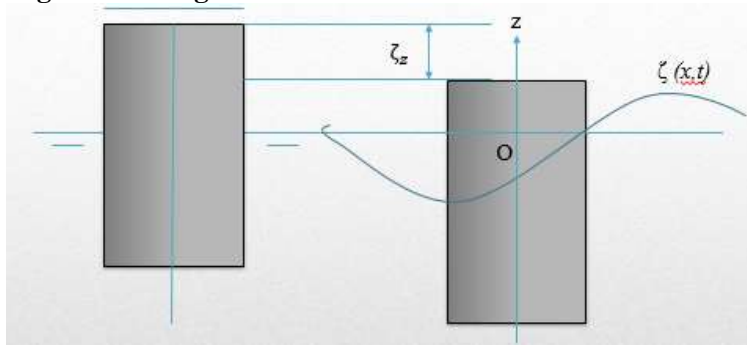
B. Gerakan rotasi :

- Roll : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu x
- Pitch : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu y
- Yaw : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu z



Gambar 15. Contoh gerakan six degree of freedom pada platform

2.3.2 Formulasi gerakan bangunan laut



Gambar 16. Silinder terapung pada medan propagasi

Konsep dasar bangunan laut Gerakan ini disebabkan oleh beban lingkungan terutama gelombang. Dari Gambar 14 dijelaskan sebuah benda berbentuk silinder berdiameter D yang terapung bebas di medan propagasi gelombang harmonik sinusoidal dengan asumsi gelombang lebih panjang dari diameter silinder.

dibawah ini akan dijelaskan mengenai formulasi dasar gerakan bangunan apung, atau kapal akibat eksitasi gelombang reguler. Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi linier dan harmonik, maka persamaan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t} \quad ; j, k = 1 \dots 6 \quad (2.7)$$

Dengan

M_{jk} = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut,

- A_{jk} = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik
 B_{jk} = matriks koefisien-koefisien redaman hidrostatis
 K_{jk} = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatis
 F_j = matriks gaya eksitasi (F1,F2,F3) dan momen eksitasi (F4,F5,F6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)
 $\ddot{\zeta}_k$ = elevasi percepatan gerak pada mode ke k
 $\dot{\zeta}_k$ = elevasi kecepatan gerak pada mode ke k
 ζ_k = elevasi gerakan pada mode k
 $F1$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan surge
 $F2$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan sway
 $F3$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan heave
 $F4$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan roll
 $F5$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan pitch
 $F6$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan yaw

Persamaan diatas jelas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan gaya reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku-suku di sebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya inersia gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan simpangan atau displasmen gerakan.

Bila diasumsikan bahwa bangunan apung mempunyai bentuk simetris terhadap bidang tegak O-xz dan titik beratnya terletak pada koordinat (0,0,zg) maka matriks massa secara umum adalah :

$$M_{jk} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_g & 0 \\ 0 & m & 0 & -mz_g & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -mz_g & 0 & I_{44} & 0 & I_{46} \\ mz_g & 0 & 0 & 0 & -I_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{64} & 0 & I_{66} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Dengan m adalah massa bangunan apung, I_{jj} adalah momen inersia massa pada mode ke j, dan I_{jk} adalah produk momen inersia massa. Dengan asumsi yang sama, matriks yang memuat koefisien-koefisien massa tambah dan redaman adalah:

$$A_{jk} \text{ (atau } B_{jk} \text{)} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 & a_{15} & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & a_{24} & 0 & a_{26} \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 0 & a_{35} & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} & 0 & a_{46} \\ a_{51} & 0 & a_{52} & 0 & a_{54} & 0 \\ 0 & a_{62} & 0 & a_{64} & 0 & a_{66} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Dalam hal gerakan translasi, atau $j, k = 1, 2$, dan 3 , a_{jj} adalah merepresentasikan massa tambah yang timbul akibat gerakan ke j dan a_{jk} adalah produk massa tambah dari mode gerakan ke j dan k . sedangkan bila $j = 4, 5$ dan 6 , a_{jj} adalah momen inersia massa tambah pada mode ke j . produk momen inersia dan massa tambah dapat terjadi dari kombinasi gerakan translasi-rotasi, mis. A35 atau A53 maupun kombinasi dari gerakan rotasi-rotasi mis. A46 atau A64.

Selanjutnya untuk bangunan yang terapung di permukaan bebas, koefisien-koefisien hidrostatis pengembali yang tidak sama dengan nol adalah

$$k_{33}, k_{44}, k_{55}, \text{ dan } k_{35} = k_{53}$$

Dalam persamaan 3.53 k_{33} adalah gaya pengembali akibat massa air laut yang dipindahkan oleh gerakan heave, k_{44} dan k_{55} masing masing adalah momen pengembali akibat gerakan roll dan pitch, sedangkan k_{35} dan k_{53} adalah momen pengembali akibat kombinasi gerakan heave dan pitch.

Bila matriks massa dalam persamaan 3.51, koefisien massa tambah dan redaman dalam persamaan 3.52 dan koefisien pengembali dalam persamaan 3.53 dimasukkan ke persamaan gerak 3.50 maka untuk bangunan laut yang simetris dalam gerak lateral, enam persamaan gerak kopel akan dipisahkan menjadi 2 dua bagian. Bagian pertama adalah persamaan kopel untuk surge heave, dan pitch, serta bagian kedua adalah persamaan kopel untuk sway, roll, dan yaw, jadi untuk bangunan apung seperti halnya kapal dengan bentuk simetris, tidak akan terjadi kopel antara surge, heave dan pitch dengan sway, roll dengan yaw.

Mengingat gaya dan momen eksitasi hidrodinamis pada ruas kanan persamaan 3.50, atau juga persamaan 3.49 adalah merupakan fungsi kompleks maka menurut Seren dan Altar (1984) dapat juga dituliskan dalam bentuk

$$F_j = \operatorname{Re}(\bar{F}_j e^{-i\omega t}) \quad (2.10)$$

Amplitudo gaya hidrodinamis kompleks \bar{F}_j dalam persamaan 3.54 dapat dituliskan dalam bentuk komponen real (R) dan Imanjine, yaitu :

$$\bar{F}_j = F_{jR} + iF_{jI} \quad (2.11)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan 3.55 ke dalam persamaan 3.54 akan di dapat

$$F_j = \{(F_{jR} + iF_{jI})e^{-i\omega t}\} \quad (2.12)$$

Karena suku eksponensial dalam persamaan 3.56 dapat digantikan oleh fungsi sinusoidal, maka persamaan 3.56 dapat dituliskan :

$$F_j = F_{jR} \cos \omega t + iF_{jI} \sin \omega t \quad (2.13)$$

Atau selanjutnya dituliskan dalam bentuk :

$$F_j = |F_j| \cos(\varepsilon_j - \omega t) \quad (2.14)$$

Dengan

$$|F_j| = \sqrt{(F_{jR}^2 + F_{jI}^2)} \quad (2.15)$$

Yaitu harga maksimum dari gaya eksitasi, serta selanjutnya :

$$\varepsilon_j = \arctan(F_{jR}/F_{jI}) \quad (2.16)$$

Yakni pergeseran fase antara harga maksimum gaya eksitasi gelombang dari gelombang insiden pada titik origin system pada koordinat gelombang

Agar kompatibel dengan ekspresi kompleks dari gaya eksitasi, maka displasmen gerakan ζ_k juga harus diasumsikan berupa fungsi kompleks berikut :

$$\zeta_k = \operatorname{Re}(\bar{\zeta}_k e^{-i\omega t}) \quad (2.17)$$

Serta selanjutnya kecepatan dan percepatan diekspresikan se agai turunan displasmen terhadap waktu :

$$\begin{aligned} \dot{\zeta}_k &= \operatorname{Re}(i\omega \bar{\zeta}_k e^{-i\omega t}) \\ \ddot{\zeta}_k &= \operatorname{Re}(i\omega^2 \bar{\zeta}_k e^{-i\omega t}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dengan mengikuti urutan penurunan persamaan 3.55 sampai dengan 3.60 maka untuk gerakan juga dapat diperoleh :

$$\begin{aligned}\bar{\zeta}_k &= \zeta_{kR} + i\zeta_{kI} \\ \zeta_k &= \zeta_{kR} \cos \omega t + i\zeta_{kI} \sin \omega t\end{aligned}\quad (2.19)$$

$$|\zeta_k| = \sqrt{(\zeta_{kR}^2 + \zeta_{kI}^2)} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned}\zeta_k &= |\zeta_k| \cos(\alpha_k - \omega t) \\ \alpha_k &= \arctan(\zeta_{kR}/\zeta_{kI})\end{aligned}$$

Dengan

= displasmen gerakan maksimum

= pergeseran fase dari displasmen gerakan maksimum terhadap gelombang insiden maksimum pada titik origin system koordinat gelombang

Keenam gerakan bangunan apung dalam persamaan 3.50 dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok gerakan yang saling berkopel. Pertama adalah gerakan kopel longitudinal yang terdiri dari surge, heave, dan pitch dan yang kedua adalah gerakan kopel transversal yang terdiri dari sway, roll dan yaw. Dengan begitu gerakan bangunan apung yang idealnya harus diselesaikan dalam dua bentuk persamaan kopel. Namun demikian penyelesaian yang demikian akan sangat kompleks sehingga perlu dilakukan penyederhanaan.

Mengingat bahwa dalam evaluasi gerakan, bangunanapung utamanya yang berbentuk kapal diasumsikan mempunyai konfigurasi lambung langsing serta simetri terhadap bidang lateral maka variable-variabel hidrodinamik dalam arah sumbu-x atau terkait dengan surge, seperti massa tambah, redaman , gaya gelombang difraksi, dan yang lainnya adalah kecil dan dapat diabaikan. Oleh karena itu gerakan surge dapat dipisahkan dari kopel gerakan dengan heave dan pitch. Sehingga gerakan surge dapat dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial tereduksi, yang hanya dipengaruhi oleh factor inersia sebagai berikut:

$$m_{11}\ddot{\zeta} = F_1 \quad (2.21)$$

Atau jika dituliskan menurut referensi system sumbu, dan mengacu pada gambar 3.7 akan berbentuk:

$$m_{11}\ddot{\zeta} = F_1 \quad (2.22)$$

Selanjutnya dengan mengekspansi persamaan 3.50, persamaan kopel untuk heave, pitch, yakni j,k=3 dan 5 akan dapat tulisan sebagai:

$$\begin{aligned}(m_{33} + a_{33})\ddot{\zeta}_3 + b_{33}\dot{\zeta}_3 + k_{33}\zeta_3 + a_{35}\ddot{\zeta}_5 + b_{35}\dot{\zeta}_5 + k_{35}\zeta_5 &= F_3 \\ (I_{33} + a_{33})\ddot{\zeta}_3 + b_{33}\dot{\zeta}_3 + k_{33}\zeta_3 + a_{35}\ddot{\zeta}_5 + b_{35}\dot{\zeta}_5 + k_{35}\zeta_5 &= F_5\end{aligned}\quad (2.23)$$

Yang jika dituliskan menurut system sumbunya adalah :

$$\begin{aligned}(m_{33} + a_{33})\ddot{\zeta}_z + b_{33}\dot{\zeta}_z + k_{33}\zeta_z + a_{35}\ddot{\zeta}_\theta + b_{35}\dot{\zeta}_\theta + k_{35}\zeta_\theta &= F_3 \\ (I_{33} + a_{33})\ddot{\zeta}_\theta + b_{33}\dot{\zeta}_\theta + k_{33}\zeta_\theta + a_{35}\ddot{\zeta}_z + b_{35}\dot{\zeta}_z + k_{35}\zeta_z &= F_5\end{aligned}\quad (2.24)$$

Bila persamaan 3.62 dan 3.63 di substitusikan ke dalam persamaan 3.71 maka diperoleh bentuk persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\{(m_{33} + a_{33})(-\omega^2) + b_{33}(-i\omega) + k_{33}\}\bar{\zeta}_3 + \{a_{35}(-\omega^2) + b_{35}(-i\omega) + k_{35}\}\bar{\zeta}_5 &= \bar{F}_3 \\ \{(I_{55} + a_{55})(-\omega^2) + b_{55}(-i\omega) + k_{55}\}\bar{\zeta}_3 + \{a_{53}(-\omega^2) + b_{53}(-i\omega) + k_{53}\}\bar{\zeta}_5 &= \bar{F}_5\end{aligned}\quad (2.25)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.55 dan 3.64 ke dalam pers 3.73 untuk k,j = 3 dan 5 serta mengatir ruas kiri dan kanan persamaan di atas dalam bentuk suku riil dan imajiner maka akan dapat persamaan matriks :

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m_{33} + a_{33}) + k_{33} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} & \omega b_{33} & \omega b_{53} \\ -\omega^2 a_{35} + k_{35} & -\omega^2(I_{55} + a_{55}) + k_{55} & \omega b_{53} & \omega b_{55} \\ -\omega b_{33} & -\omega b_{53} & -\omega^2(m_{33} + a_{33}) + k_{33} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} \\ -\omega b_{53} & -\omega b_{55} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} & -\omega^2(I_{55} + a_{55}) + k_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \zeta_{3R} \\ \zeta_{5R} \\ \zeta_{31} \\ \zeta_{51} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{3R} \\ F_{5R} \\ F_{31} \\ F_{51} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Atau bila dituliskan dengan notasi sumbu menjadi :

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m_{33} + a_{33}) + k_{33} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} & -\omega b_{33} & -\omega b_{53} \\ -\omega^2 a_{35} + k_{35} & -\omega^2(I_{55} + a_{55}) + k_{55} & -\omega b_{53} & -\omega b_{55} \\ -\omega b_{33} & -\omega b_{53} & -\omega^2(m_{33} + a_{33}) + k_{33} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} \\ -\omega b_{53} & -\omega b_{55} & -\omega^2 a_{35} + k_{35} & -\omega^2(I_{55} + a_{55}) + k_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \zeta_{3R} \\ \zeta_{5R} \\ \zeta_{31} \\ \zeta_{51} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{3R} \\ F_{5R} \\ F_{31} \\ F_{51} \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Dengan mengekspansi pesr.3.50 untuk mode sway, rol dan yaw, yakni =2,4 dan 6 akan di dapat :

$$\begin{aligned} (m_{22} + a_{22})\ddot{\zeta}_2 + b_{22}\dot{\zeta}_2 + a_{24}\ddot{\zeta}_4 + b_{24}\dot{\zeta}_4 + a_{26}\ddot{\zeta}_6 + b_{26}\dot{\zeta}_6 &= F_2 \\ (I_{44} + a_{44})\ddot{\zeta}_4 + b_{44}\dot{\zeta}_4 + k_{44}\zeta_4 + a_{42}\ddot{\zeta}_2 + b_{42}\dot{\zeta}_2 + a_{46}\ddot{\zeta}_6 + b_{46}\dot{\zeta}_6 &= F_4 \\ (I_{66} + a_{66})\ddot{\zeta}_6 + b_{66}\dot{\zeta}_6 + a_{62}\ddot{\zeta}_2 + b_{62}\dot{\zeta}_2 + a_{64}\ddot{\zeta}_4 + b_{64}\dot{\zeta}_4 &= F_6 \end{aligned} \quad (2.28)$$

Atau bila di substitusikan dalam bentuk notasi sumbu menjadi :

$$\begin{aligned} (m_{22} + a_{22})\ddot{\zeta}_\gamma + b_{22}\dot{\zeta}_\gamma + a_{24}\ddot{\zeta}_\emptyset + b_{24}\dot{\zeta}_\emptyset + a_{26}\ddot{\zeta}_\psi + b_{26}\dot{\zeta}_\psi &= F_2 \\ (I_{44} + a_{44})\ddot{\zeta}_\emptyset + b_{44}\dot{\zeta}_\emptyset + k_{44}\zeta_\emptyset + a_{42}\ddot{\zeta}_\gamma + b_{42}\dot{\zeta}_\gamma + a_{46}\ddot{\zeta}_\psi + b_{46}\dot{\zeta}_\psi &= F_4 \\ (I_{66} + a_{66})\ddot{\zeta}_\psi + b_{66}\dot{\zeta}_\psi + a_{62}\ddot{\zeta}_\gamma + b_{62}\dot{\zeta}_\gamma + a_{64}\ddot{\zeta}_\emptyset + b_{64}\dot{\zeta}_\emptyset &= F_6 \end{aligned} \quad (2.29)$$

Memakai prosedur yang sama seperti dalam formulasi gerakan kopel heave dan pitch maka gerakan kopel sway, roll dan yaw untuk k,j =2,4 dan 6 akan mempunyai bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m_{22} + a_{22}) & -\omega^2 a_{24} & -\omega^2 a_{62} & \omega b_{22} & \omega b_{24} & \omega b_{26} \\ -\omega^2 a_{42} & -\omega^2(I_{44} + a_{44}) + k_{44} & -\omega^2 a_{46} & \omega b_{24} & \omega b_{44} & \omega b_{46} \\ -\omega^2 a_{62} & -\omega^2 a_{44} & -\omega^2(I_{66} + a_{66}) & \omega b_{62} & \omega b_{64} & \omega b_{66} \\ -\omega b_{22} & -\omega b_{24} & -\omega b_{26} & -\omega^2(I_{22} + a_{22}) & -\omega^2 a_{24} & -\omega^2 a_{26} \\ -\omega b_{42} & -\omega b_{44} & -\omega b_{46} & -\omega^2 a_{24} & -\omega^2(I_{44} + a_{44}) + k_{44} & \omega^2 a_{46} \\ -\omega b_{62} & -\omega b_{64} & -\omega b_{66} & -\omega^2 a_{62} & -\omega^2 a_{64} & -\omega^2(I_{66} + a_{66}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \zeta_{2R} \\ \zeta_{4R} \\ \zeta_{6R} \\ \zeta_{2I} \\ \zeta_{4I} \\ \zeta_{6I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{2R} \\ F_{4R} \\ F_{6R} \\ F_{2I} \\ F_{4I} \\ F_{6I} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Apabila disubstitusikan notasi sumbu menjadi :

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m_{22} + a_{22}) & -\omega^2 a_{24} & -\omega^2 a_{62} & \omega b_{22} & \omega b_{24} & \omega b_{26} \\ -\omega^2 a_{42} & -\omega^2(I_{44} + a_{44}) + k_{44} & -\omega^2 a_{46} & \omega b_{24} & \omega b_{44} & \omega b_{46} \\ -\omega^2 a_{62} & -\omega^2 a_{44} & -\omega^2(I_{66} + a_{66}) & \omega b_{62} & \omega b_{64} & \omega b_{66} \\ -\omega b_{22} & -\omega b_{24} & -\omega b_{26} & -\omega^2(I_{22} + a_{22}) & -\omega^2 a_{24} & \omega^2 a_{26} \\ -\omega b_{42} & -\omega b_{44} & -\omega b_{46} & -\omega^2 a_{24} & -\omega^2(I_{44} + a_{44}) + k_{44} & \omega^2 a_{46} \\ -\omega b_{62} & -\omega b_{64} & -\omega b_{66} & -\omega^2 a_{62} & -\omega^2 a_{64} & -\omega^2(I_{66} + a_{66}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \zeta_{\gamma R} \\ \zeta_{\emptyset R} \\ \zeta_{\psi R} \\ \zeta_{\gamma I} \\ \zeta_{\emptyset I} \\ \zeta_{\psi I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{\gamma R} \\ F_{\emptyset R} \\ F_{\psi R} \\ F_{\gamma I} \\ F_{\emptyset I} \\ F_{\psi I} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Melihat pada persamaan diatas ,akan dapat disimpulkan bahwa respon gerakan bangunnan apung oleh eksitasi beban gelombang pada dasarnya dapat diselesaikan dalam dua tahap. Pertama adalah melakukan komputasi numeric factor-faktor hidrodinamika, yakni koefisien-koefisien massa tambah, redaman, kekakuan, gaya eksitasi dan difraksi gelombang. dan kedua adalah menyelesaikan matriks persamaan differensial simultan untuk gerakan kopel.

Dalam hal pertama, penyelesaian factor hodrodinamik dapat dilakukan dengan menerapkan teori strip, dimana pemecahan masalah hidrodinamik dilakukan pada tiap-tiap potongan 2D lambung bangunan apung yang terbenam kemudian mengintegrasikannya ke arah memanjang bangunan apung. Asumsi utama teori strip2-D dalah lambung bangunan apung mempunyai konfigurasi langsing atau selender. Sejumlah teknik telah diperkenalkan oleh para peneliti terdahulu untuk menyelesaikan teori strip, antara lain dengan metode lewis form,Lewis (1929), Lloyd (1989), metoda tasai-porter conformal mapping Tasai (1960), Porter (1960),

serta metode Frank close-fit source distribution, Frank (1978), Frank & Salvensen (1970), teori strip 2D banyak dikembangkan di berbagai institusi penelitian pada tahun 1970 dan 1980 an, sesuai dukungan kapasitas komutasi pada saat itu. Untuk memudahkan pemahaman mengenai prosedur komputasi battacharya (1978) telah memberikan contoh-contoh perhitungan manual secara bertahap.

Sejak era pertengahan 1980 an dan seterusnya, dimana peralatan komputasi sudah semakin canggih maka mulailah intensif diterapkan metoda numeric lebu baru untuk penyelesaian prediksi factor-faktor hidrodinamik, yang dikenal dengan panel 3 dimensi. Teori panel 3 dimensi pada awalnya diperkenalkan dalam studi aerodinamika oleh hess & smith (1967), kemudian diadopsi dalam pemecahan masalah di hidrodinamika, utamanya dengan mengadaptasi permasalahan interseksi kedua fluida dan efek permukaan bebasnya. Dalam metode ini permukaan lambung bangunan apung dibagi menjadi panel-panel dengan distribusi singularitas pada masing- masing panel. Singularitas yang lazim digunakan adalah sink dan/source, baik yang hanya berosilasi mengikuti eksitasi gelombang atau dikenal dengan pulsating-source, Zheng (1988) maupun atau sekaligus juga memasukkan efek laju gerakan bangunan apung atau translating-pulsating source distribution, Chan (1990). Dalam metode panel ukuran struktur tidak harus langsing, karena permasalahan difraksi 3D maupun non-linear akibat bentuk lambung besar akan dapat diselesaikan dengan seksama dan akurat, Chakrabarti (1983) kormeyer & bingham (1998). Metode ini sekarang banyak diterapkan, khususnya untuk pengembangan perangkat lunak komersial yang seccara umum dikenal denga teori difraksi 3 dimensi. Disamping tidk ada batasan dalam urusan struktur, konfigurasi lambung baik tunggal maupun ganda, bahkan lambung jarak lebih dari duapun akan dpat diselesaikan dengan relative mudah.

2.3.3 Response Amplitude Operator

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang yang mengenai sruktur dalam rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur.

RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, ζ_{k0} , dengan amplitudo gelombang, ζ . Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \quad \text{m/m} \quad (2.32)$$

dengan:

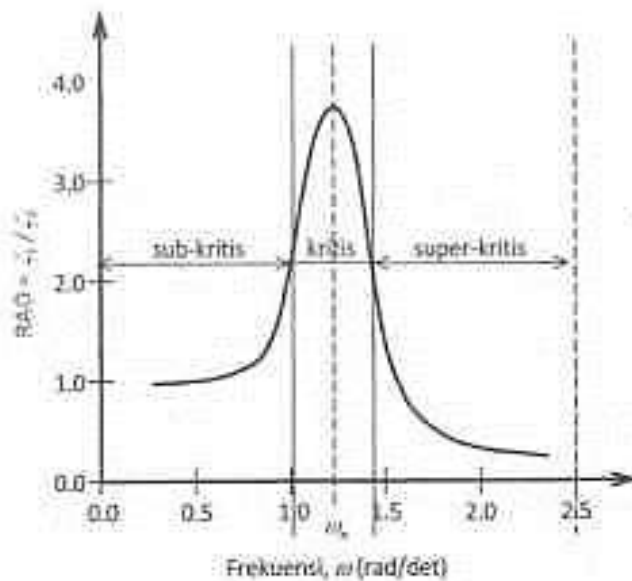
$\zeta_{k0}(\omega)$ = amplitudo struktur (m)

$\zeta_0(\omega)$ = amplitudo gelombang (m)

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibandingkan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djatkiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan 3.6 di atas. Sedangkan untuk respons

gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ($k\omega = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{Ao}(\omega)}{\zeta_o(\omega)} = \frac{\zeta_{Ao}}{(\omega^2/g)\zeta_o} \quad (\text{rad/m}) \quad (2.33)$$



Gambar 17. Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan Apung

Berdasarkan **Gambar 2.3**, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh factor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang

yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djatkiko, 2012).

Bangunan Apung Pada gelombang Acak

2.3.4 Respon Bangunan Apung Pada Gelombang Acak

Respons bangunan apung pada khususnya kapal yang diakibatkan oleh eksitasi gelombang acak telah diperkenalkan pertama kali oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan, yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatkiko, 2012).

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan respon struktur secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad \text{deg/m} \quad (2.34)$$

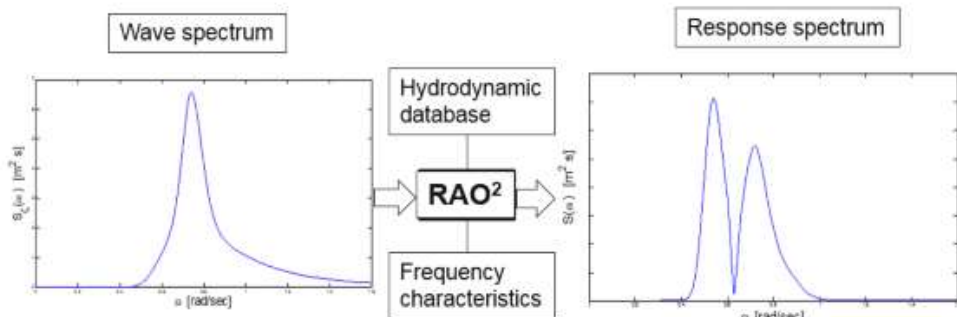
dengan :

S_R = spektrum respons (m²-sec)

$S\omega$ = spektrum respons (m²-sec)

Rao (ω)= transfer function

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)



Gambar 18. Calculation of motion response spectra for floating structure

2.3.5 Spektrum Gelombang

Spektrum Gelombang merupakan pemilihan spectrum energi gelombang yang dibuat untuk memperoleh struktur keadaan laut berdasarkan kondisi real laut yang sedang di tinjau. Metode yang diterapkan untuk menganalisis rekaman gelombang menjadi kurva spektrum energi gelombang pada dasarnya adalah mentransformasikan rekaman gelombang acak dalam domain waktu menjadi kurva spektra energi gelombang dalam domain frekuensi, dengan menggunakan algoritma matematika deret Fourier. Algoritma yang digunakan telah dikembangkan sedemikian rupa sehingga proses tranformasi secara numerik dapat dilakukan dengan cepat, yang kemudian dikenal sebagai FFT (*Fast Fourier Transform*).

Hasil FFT yang telah diproses, melalui penghalusan dan penyaringan selanjutnya diplot dalam grafik, dengan absis berupa frekuensi gelombang, ω , dan ordinat berupa spektra kepadatan energi gelombang. Dari setiap kurva spektra akan dapat dilakukan komputasi sebagai parameter statistic gelombang : tinggi signifikan, tinggi rata-rata, periode puncak rata-rata, dan lain sebagainya. Kurva spektra rata-rata yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan penelitian untuk menyusun persamaan matematis atau formula spektra gelombang.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). (Djatkiko, 2012).

2.3.6 Spectrum JONSWAP

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di North Sea. Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik

perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spectrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz (DNV RP-C205,2010), yaitu :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp\left[-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right]} \quad (2.35)$$

Dengan,

S_{pm} = Spektra Pierson-Moskowitz

$$= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^2 \omega^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right]$$

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

σ = parameter bentuk (*shape parameter*) untuk $\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0,09$

A_γ = normalizing factor = $1 - 0.287 \ln(\gamma)$

ω = wave frequency (rad/sec)

ω_p = angular spectral peak frequency ($2\pi / T_p$) (rad/sec)

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak (s)

2.4 Faktor- Faktor non-linear

Untuk memenuhi kondisi yang mendekati kenyataan pada analisis respon struktur maka faktor-faktor non linear harus dipertimbangkan dalam perhitungan. Adapun faktor-faktor non linear yang perlu diperhitungkan adalah sebagai berikut:

2.3.1 Beban Angin

Beban Angin merupakan beban dinamis, dalam perancangan banunan lepas pantai, angin merupakan sebuah beban yang dapat mempengaruhi respon struktur, maka perlu dilakukan perhitungan. Beban angin dihitung berdasarkan besarnya kecepatan ekstrim dengan periode ulang 100 tahunan. Semakin lama periode ulang yang digunakan maka resiko kegagalan semakin besar. []

Berdasarkan OCIMF (1997) mooring equipment guidelines, perhitungan beban angin didefinisikan sebagai :

- Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.36)$$

- Lateral wind Force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.37)$$

Dengan :

F_{xw}	= gaya angin longitudinal (kN)
F_{yw}	= gaya angin lateral (kN)
C_{xw}	= koefisien gaya angin longitudinal non dimensional
C_{yw}	= koefisien gaya angin transfersal non dimensional
ρ_w	= densiti udara = 1.223 Kg/m ³ pada 20 ⁰ C
V_w	= kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knot)
A_T	= luas penampang transfersal diatas air (m ²)
A_L	= luas penampang longitudinal diatas air (m ²)

2.3.2 Beban Gelombang

Beban gelombang merupakan beban lingkungan yang memberikan efek terbesar terhadap bangunan lepas pantai. Terdapat beberapa teori yang dapat digunakan untuk perhitungan gaya gelombang. Pada analisis ini, teori yang digunakan adalah teori difraksi. Jika suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Untuk gaya gelombang *time series* dapat di bangkitkan dari spectrum gelombang sebagai *First Order* dan *Second Order*. *First Order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitnya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Berikut adalah persamaan gaya gelombang first order.

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos(\omega_i t + \varepsilon_i) \alpha_i \quad (2.37)$$

Dimana :

$F_{wv}^{(1)}(t)$	= Gaya gelombang <i>First Order</i> fungsi waktu
$F_{wv}^{(1)}(\omega)$	= Gayaexciting gelombang <i>First Order</i> per unit Amplitudo gelombang
ε_j	= Sudut fase komponen gelombang <i>First Order</i>
α_i	= Amplitudo komponen gelombang <i>First Order</i>

Second Order adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitnya tidak di daerah tersebut (jauh dari lokasi gelombang terjadi). Berikut adalah persamaan gaya gelombang *Second Order*.

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j D_{ij} \cos [(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)]$$

D_{ij} = Drift force per unit amplitudo gelombang

2.3.3 Beban Arus

Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non-linear*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi *linear*.

Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut :

- Longitudinal current force
- Lateral current force

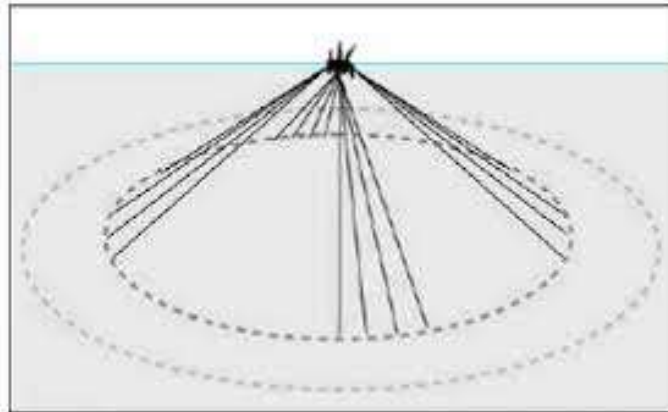
2.5 Sistem Tambat (Mooring System)

Sistem tali tambat terbentuk dari sejumlah tali atau kabel yang diletakkan pada struktur terapung di posisi yang berbeda dengan kabel yang berada di bawah tertambat oleh sea bed. Pada dasarnya mooring line bisa menahan gaya vertical dari ujung atas. Tali tambat (mooring lines) terbagi menjadi dua komponen yaitu

- Wire rope adalah sistem kabel lebih ringan dibandingkan dengan sistem rantai oleh karena itu pada umumnya tali tambat terdapat gaya pengembali (restoring force) yang lebih baik pada laut dalam dibandingkan rantai dan membutuhkan tegangan awal yang kecil.
- Chain (rantai) adalah sistem rantai telah terbukti untuk daya tahan pada operasi di lepas pantai. Rantai lebih baik untuk pencegahan akan abrasi pada dasar laut dan memberikan kontribusi yang signifikan pada daya cengkaman jangkar.

2.3.4 Spread Mooring

Secara garis besar konfigurasi sistem tambat bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*) dan jenis tambat titik tunggal (*single point mooring*). Spread mooring merupakan salah satu cara yang cocok untuk sarana tambat Platform PLTAL karena sistem *spread mooring* ini memungkinkan kapal untuk bergerak atau berputar mencapai posisi dimana ditemukan efek-efek lingkungan seperti angin, arus dan gelombang. Tapi kita ketahui cara ini akan mengakibatkan beban lingkungan terhadap kapal akan menjadi semakin besar, sehingga dapat mengakibatkan bertambahnya jumlah *mooring lines* dan *line tension*-nya.

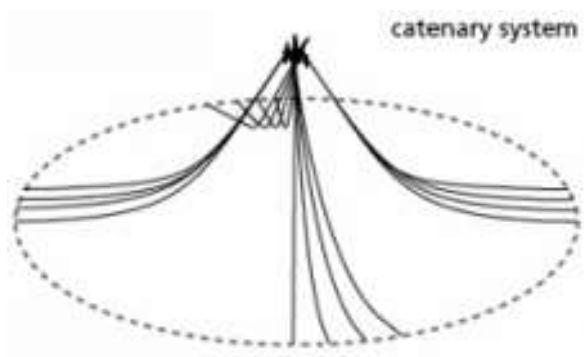


Gambar 19. Contoh spread mooring system

2.3.5 Catenary Mooring Syetem

Catenary mooring system merupakan sistem tambat paling uum digunkana pada perairan dangkal. Melalui gravitasi pada catenary, antara sea bed dan floating structure akan terlihat karakteristiknya yang menggantung. Catenary mooring line menggantung secara horizontal terhadap sea bed. Konsekuensinya panjang tali pada catenary akan lebih panjang dari kedalaman laut dan letak ancure dikenakan gaya horizontal. Cateary line dapat memberikan gaya pengembali pergerakan kapal lebih banyak melalui berat dari line.

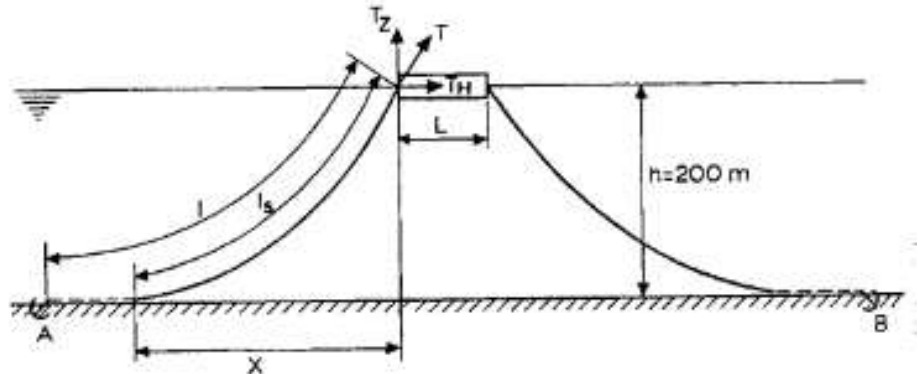
Catenary mooring line mempunyai bagian yang menggelendong dan menyentuh sea bed. Bagian yang menggantung akan memperlihatkan bentuk mooring line . tergantung pada kedalaman perairan, berat dari mooring line di diterapkan pada mooring line pada fairlead.



Gambar 20. Catenary Mooring line

2.3.6 Penentuan Panjang mooring line

Penentuan panjang chain line berfungsi agar bangunan apung pada penambatannya memiliki posisi yang tepat dan chain line sendiri memiliki panjang dan pretension yang sesuai []



Gambar 21. Minimum Length of Mooring Line

Berikut adalah penentuan panjang minimum dari mooring line (basic equation):

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{Ph}} + 1$$

Atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{w \cdot h}} - 1$$

dimana:

l = panjang minimum dari chain line.

h = $h_m + h_c$. h_m = kedalaman air.

H_c = tinggi fairlead di atas permukaan air.

P = berat chain line didalam air persatuan panjang.

F_H = gaya horizontal chain line pada fairlead.

T = tension dari chain line pada fairlead.

D = length resting on the seabed.

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari mooring line, yaitu:

- 200 s/d 300 m untuk mooring line yang memiliki konfigurasi wire rope anchor lines.

50 s/d 100 m untuk mooring line yang memiliki konfigurasi chain anchor lines.

2.3.7 Tension Pada Mooring line

Gerakan pada lambung *floating platform* karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel. Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan low-frequency tension.

Berdasarkan aturan standar dari API RP 2SK edisi ketiga, tegangan maksimum dapat ditentukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. $T_{ifmax} > T_{wfmax}$, maka :

$$T_{max} = T_{mean} + T_{ifmax} + T_{wfsig}$$
2. $T_{wfmax} > T_{ifmax}$, maka :

$$T_{max} = T_{mean} + T_{ifmax} + T_{wfsig}$$

Dimana :

T_{mean} = *mean tension*

T_{max} = *maximum tension*

T_{wfmax} = *maximum wave frequency motion.*

T_{wfsig} = *significant wave-frequency tension.*

T_{lfmax} = *maximum low-frequency tension.*

T_{lfsig} = *significant low-frequency tension*

b. *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*. Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{max} = TH + wh$$

Dimana :

T_{max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

TH = horizontal *pre-tension* (ton)

W = berat *chain* di air (ton/m)

H = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuaidengan kriteria/Batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule*. Dan yang digunakan pada

Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API RP 2SK (2005), yakni sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria safety factor tali tambat

<i>Condition</i>	<i>Safety Factor</i>
<i>Intact (ULS)</i>	> 1.67
<i>Damaged (ALS)</i>	> 1.25

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK adalah:

$$\text{Safety factor} = \frac{\text{minimum Breaking loads}}{\text{Maximum Tension}}$$

2.3.8 Excursion

Excursion atau *offset* adalah perpindahan posisi pada FPSO dengan jarak sejauh x meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari FPSO pada saat mendapat beban lingkungan. Offset maksimum dapat ditentukan dengan prosedur di bawah ini:

1. $S_{ifmax} > S_{wfmax}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{ifmax} + S_{wfsig}$$
2. $S_{wfmax} > S_{ifmax}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{ifmax} + S_{wfsig}$$

Dimana :

- S_{mean} = *mean vessel offset.*
- S_{max} = *maximum vessel offset.*
- S_{wfmax} = *maximum wave frequency motion.*
- S_{wfsig} = *significant wave frequency motion.*
- S_{lfmax} = *maximum low-frequency motion.*
- S_{lfsig} = *significant low-frequency motion.*

Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan time domain, frekuensi domain, kombinasi keduanya atau model testing. Mean offset yang diijinkan adalah 2% sampai 4% dari kedalaman perairan sedangkan untuk maximum offset dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan dan sistem riser. Tetapi pada umumnya pada range 8% sampai 12% dari kedalaman perairan.

2.3.9 Hybrid Mooring System With Clump Weights And Buoys (HMSWB)

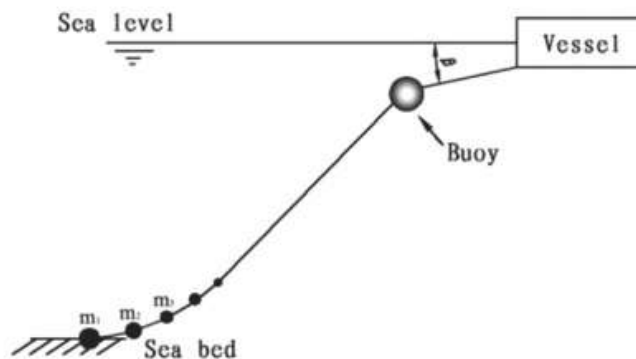
Merupakan desain baru *Mooring Line Arrangement* dimana desain dari hybrid mooring line yaitu berdasarkan pada taut mooring lines yang

sederhana yaitu mooring line terhadung pada floating platform dan membentuk garis cukup lurus menuju kebawah. Susunan ini mempunyai tahanan axial yang besar dan nilai *fatigue* yang baik. Ketika platform bergerak secara horizontal yang disebabkan oleh angin maupun arus laut, maka mooring line akan meregang dan membentuk gaya berlawanan.

Untuk mengurangi komponen gaya vertikal pada mooring line, maka dipasang beberapa clump weight pada bagian terbawah pada mooring line. Pada saat tali dalam keadaan tegangan maksimum maka clump weight harus di desain untuk memenuhi beberapa kondisi seperti: anchor point yang terletak paling bawah tidak boleh terangkat/ lepas dari sea bed. Demikian, bisa dijamin bahwa tidak ada gaya vertikal di ujung bawah dari mooring line. Bila ketegangan berkurang, bobotnya akan turun didukung oleh dasar laut, sehingga menurunkan ketegangan di fairlead.

Untuk menurunkan Tegangan pada tali, sebuah pelampung (buoy) dipasangkan pada masing-masing mooring line. Rangkaian yang terdiri dari Clump weight and buoy ini merupakan New Hybrid system yang dikenal dengan nama HMSWB *Hybrid Mooring System With Clump Weights And Buoys*.

Gaya apung pada buoy akan menetralkan gaya gravitasi, dan hasilnya, tegangan pada masing masing mooring dapat diperkecil. Dusut antara water line/sea level dengan mooring line dapat dikurangi konsekuensinya. Sehingga gaya balik horizontal disediakan oleh tali dapat dinaikkan ketika gaya balik arah vertikal akan diturunkan.



Gambar 22. Configuration of HMSWB

2.4 Persamaan Tension Orcaflex dengan Standard

Sejumlah hasil teori dari berbagai literatur yang dapat dimodelkan di OrcaFlex. Berdasarkan teori kasus ini dapat dipecahkan secara teoritis, dengan cukup sederhana. Mereka melakukannya, dengan sebuah cek yang sangat berguna untuk model matematis dasar yang digunakan oleh OrcaFlex. Persamaan catenary adalah sebagai berikut [11]:

$$x = \frac{Th_a}{w} \left[\sinh^{-1} \left(\frac{Tv_a + ws}{Th_a} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right) \right]$$

$$z = \frac{Th_a}{w} \left[1 + \sqrt{\left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right)^2} \right]$$

Dimana s adalah panjang gelombang yang diukur dari End A, w adalah berat persatuan panjang dan Th_a dan Tv_a adalah komponen horizontal dan vertikal dari tegangan pada End A. Persamaan ini mengasumsikan bahwa garis tersebut *inelastic* dan tidak membentang secara aksial. Namun, itu sangat mudah untuk memodifikasi persamaan ini. Jika menunjukkan dengan K kekakuan aksial dari garis, maka persamaan catenary yang dimodifikasi adalah:

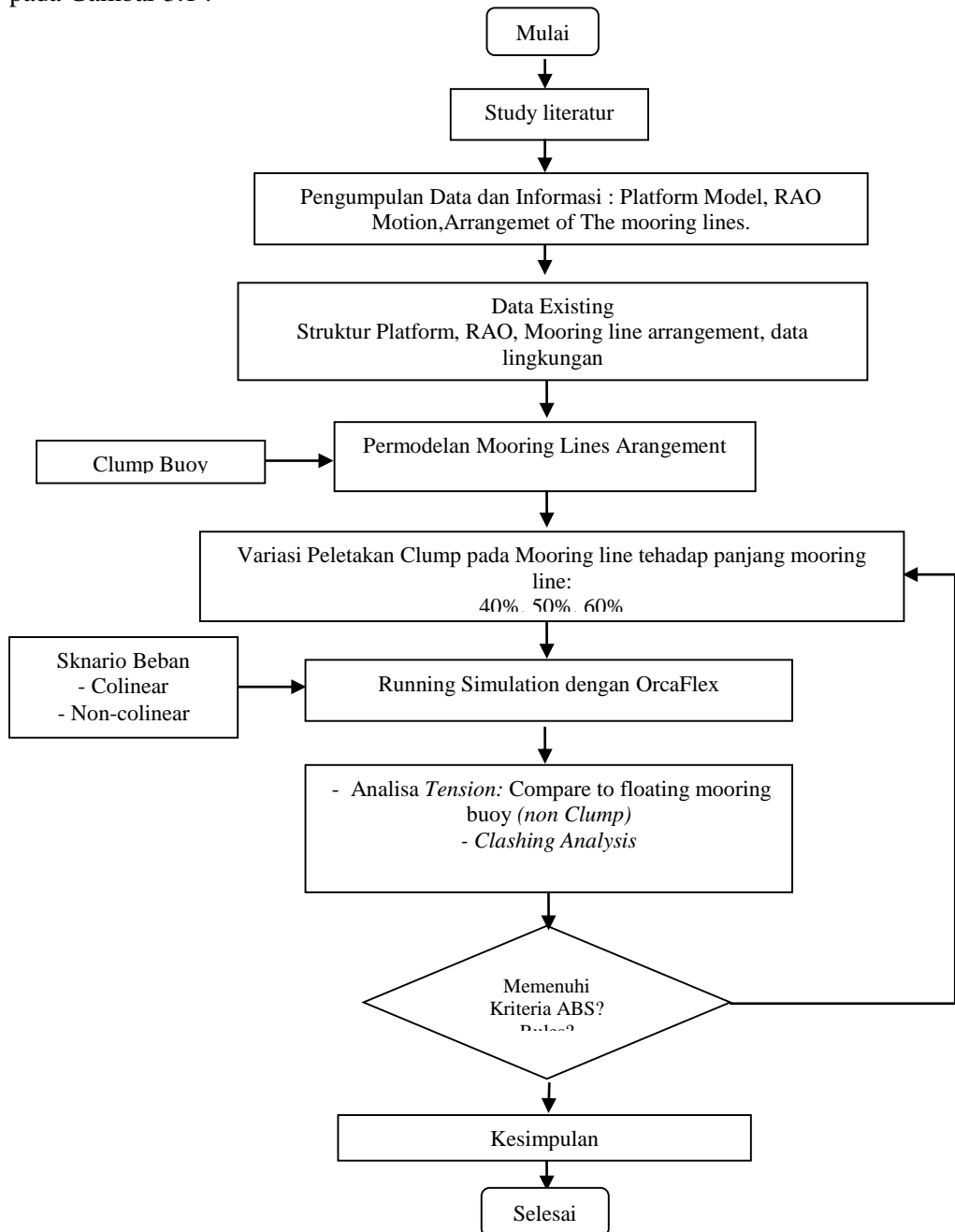
$$x = \frac{Th_a}{w} \left[\sinh^{-1} \left(\frac{Tv_a + ws}{Th_a} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right) \right] + \frac{Th_a s}{k}$$

$$z = \frac{Th_a}{w} \left[1 + \sqrt{\left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{Tv_a}{Th_a} \right)^2} \right] + \frac{Tv_a s}{k} + \frac{ws^2}{2k}$$

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alur Penelitian

Alur pengerjaan Tugas akhir disajikan dalam modologi penelitian sebagai berikut pada Gambar 3.1 :



3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam metodologi diagram diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

Studi Literatur

Studi literature dilakukan dengan mempelajari teori dasar yang menunjang penelitian tugas akhir dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar yang telah ada, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan tugas akhir ini. Bahasan pada studi literatur ini meliputi :

1. Teori Floating structure
2. Pembangkit Listrik Tenaga arus laut
3. Gelombang
4. RAO (Responses Amplitude Operator)
5. Mooring System
6. New Hybrid Mooring system with Clump and buoy (HMSWB)
7. Mooring line Tension
8. Safety Factor

Pengumpulan Data

Dalam langkah ini difokuskan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan yaitu data-data struktur lambung platform, data layout mooring system dan data RAO pada free floating data konfigurasi. Hal penting lain pada bab ini adalah menjelaskan data lingkungan yang meliputi data gelombang, arus dan angin. Serta menentukan arah pembebanan lingkungan untuk digunakan sebagai input dalam analisis respon gerak Platform.

Data Existing

Beberapa Data yang diperlukan pada pengerjaan tugas akhir ini diperoleh dari penelitian yang sudah ada yaitu : Data Struktur Platform, Data nilai RAO, Data Mooring line arrangement, spesifikasi komponen di mooring system dan data data lingkungan.

Perancangan Mooring line arrangement dan penambahan *clump buoy*

pada tahap ini dilakukan penyusunan dan permodelan mooring line arrangement yang baru untuk penempatan posisi clump buoy. sebelumnya Mooring line yang baru merupakan susunan mooring line tipe spread mooring kemudian akan disusun menjadi tipe catenary mooring line, kemudian dalam masing masing line ditambahkan clump buoy dengan variasi posisi 40%, 50% dan 60%.

Simulasi model pada orcaflex

Mooring dimodelkan dan di simulasi sesuai dengan data yang sudah ada. Pemodelan ini dilakukan dengan bantuan *software* OrcaFlex dimana dalam simulasinya dikenakan beban collinear . beban coinear merupakan beban yang diasumsikan searah, yaitu pada arah

Analisa tension pada mooring line

Analisis selanjutnya yaitu menentukan *maximum tension* yang terjadi pada mooring line sebagai akibat dari parameter respon struktur, *mooring tension*, *excursion*, dan *line clashing*. Pada tahap ini nilai tension dari hasil variasi yang sudah disimulasikan akan dianalisis dan dikomparasikan dengan ABS class yaitu maximum tension dan maximum breaking load.

Analisa tension pada mooring line

Langkah terakhir ialah pengambilan keputusan dari hasil variasi posisi diatas akan mendapatkan posisi optimum dari peletakan clump buoy ditinjau dari tension yang memenuhi serta terjadinya tubrukan antar mooring line. Pada tahapan terakhir ini nantinya akan diambil kesimpulan yang lain dari serangkaian analisa tugas akhir ini. Pada tahapan ini juga akan dirumuskan usulan-usulan atau saran yang dapat dijadikan referensi pengambilan keputusan selanjutnya.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam Tugas Akhir ini data yang digunakan adalah data struktur platform PLTAL Toyapakeh Nusa Penida-Bali, data *mooring line*, data lingkungan. Berikut adalah data-data yang digunakan untuk penelitian.

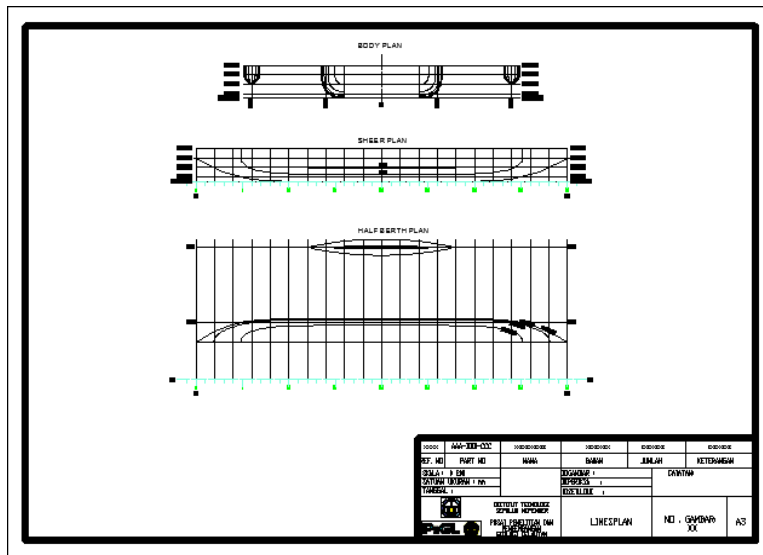
Data Struktur Ukuran Utama PLTAL

Desain platform terdiri dari desain lambung, perencanaan lambung Berdasarkan hasil kajian poin diatas tersebut dengan mengacu pada batasan-batasan yang ada berupa jumlah turbin yang terpasang dan kebutuhan displacemen platform maka diperoleh hasil ukuran utama sebagai berikut:

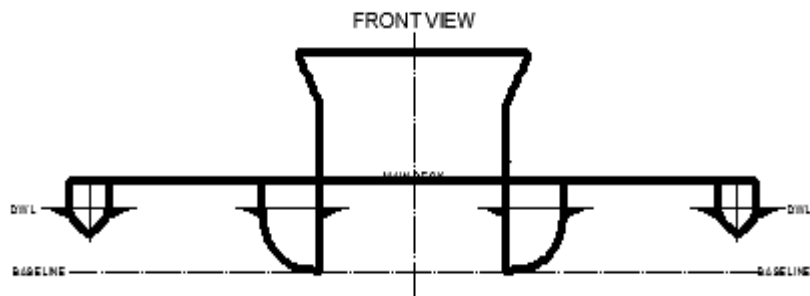
Tabel 2. Data struktur ukuran utama PLTAL

Ukuran Utama	Main Hull	Stager
Panjang Garis Kapal(Lpp)	20.0 m	8.00 m
Lebar (B)	1.25 m	0.85 m
Tinggi (H)	1.75 m	1.00 m
Sarat (T)	1.25 m	0.53 m
Koefisien Blok (CB)	0.125	0.051

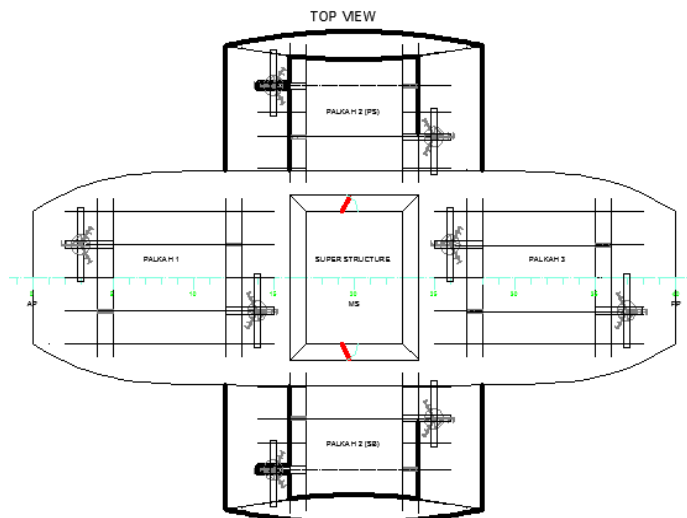
Pada penelitian ini selain data utama yang diberikan juga dapat general arrangement dari struktur lambung floating platform. General arrangement yang ditampilkan adalah struktur lambung floating platform tampak depan, atas dan samping.



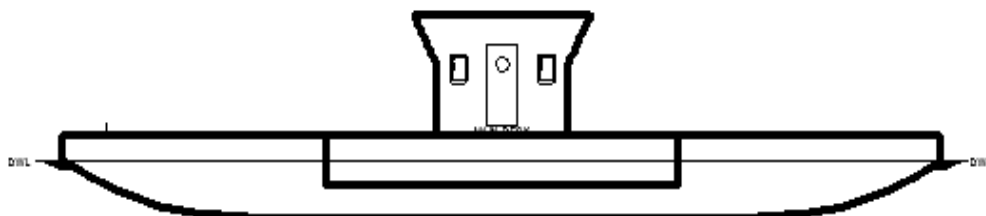
Gambar 23. Gambar Linesplan Floating Platform



Gambar 24. General arrangement Tampak Depan



Gambar 25. General arrangement Tampak Atas



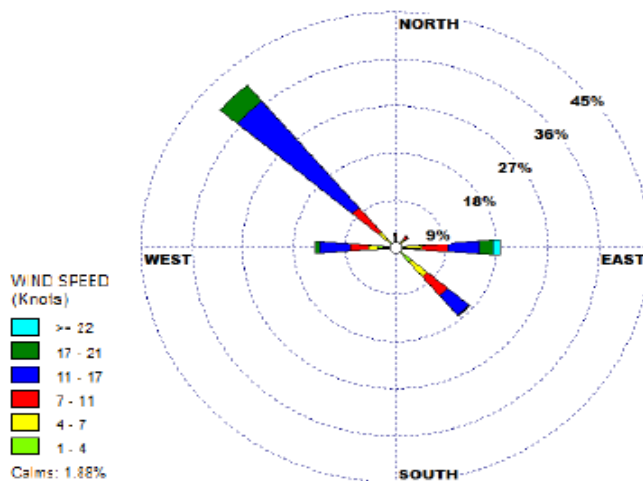
Gambar 26. General arrangement Tampak Samping.

Data Lingkungan

Data kecepatan angin pada posisi koordinat pengambilan data terletak di perairan Nusa Penida di selat Toyapakeh, yaitu $8^{\circ}63'79.70''$ LS dan $115^{\circ}49'91.47''$ BT untuk sebelah utara Pulau Nusa Penida, serta $8^{\circ}72'84.30''$ LS dan $115^{\circ}42'83.54''$ BT untuk sebelah selatan Pulau Nusa Penida.

Berdasarkan olahan data angin tersebut, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Arah angin paling dominan adalah arah barat laut dengan frekuensi kejadian 40%.
- Kecepatan angin dengan rentang 17-21 knot memiliki frekuensi kejadian 4%, 11-17 knot memiliki frekuensi kejadian 6%, dan 4-7 knot memiliki frekuensi kejadian 5%.



Gambar 27. Diagram Windrose Kecepatan Angin Selat Toyapakeh

Data Lokasi pengambilan arus pada titik 1 berada di $08^{\circ} 40' 29.6''$ LS dan $115^{\circ} 30' 53.6''$ BT pada kedalaman $\pm 25,5$ meter yaitu posisi MWL (Mean Water Level). Sedangkan untuk titik 2 berada pada $08^{\circ} 40' 25.2''$ LS dan $115^{\circ} 29' 16.2''$ BT pada Kedalaman $\pm 33,5$ meter yaitu posisi MWL (Mean Water Level). Berdasarkan pengukuran kecepatan data arus, didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 28. Current Rose Di Lokasi PLTAL

- Kecepatan arus maksimal adalah 2.4 m/s pada kedalaman 5.5 meter di titik lokasi.
- Kecepatan arus rata-rata memiliki rentang 0.2-0.7 m/s.

Untuk mencari tinggi gelombang signifikan, digunakan metode pembangkitan gelombang akibat angin (wind induced wave growth). Pada dasarnya, metode ini mengonversi kecepatan angin menjadi tinggi gelombang. Selain kecepatan angin, metode ini juga memerhatikan panjang fetch efektif pada titik lokasi. Setelah dilakukan perhitungan wave growth, maka didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Tinggi gelombang selat Toyapakeh Nusa Penida – Bali

Arah Mata Angin	Tinggi Gelombang Signifikan (m)	Periode Gelombang Signifikan (s)
Barat	0.9	3.77
Barat Laut	1.58	4.85
Timur	2.4	5.93

Tabel 4. Data Lingkungan nilai maksimum

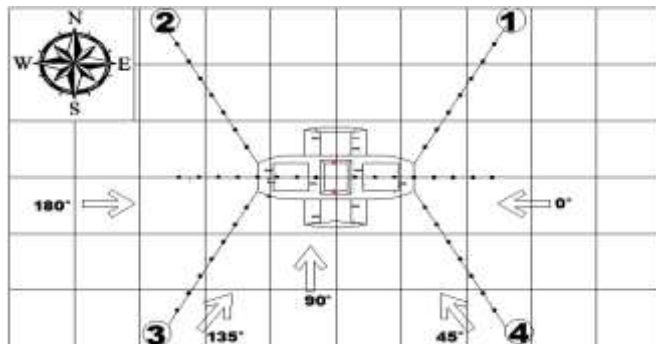
Sig Wave Height	Wind speed	Current	Water Depth
2.4 m	22 knot	2.4 m/s	250 m

Tabel 5. Data Tinggi gelombang signifikan tiap arah mata angin

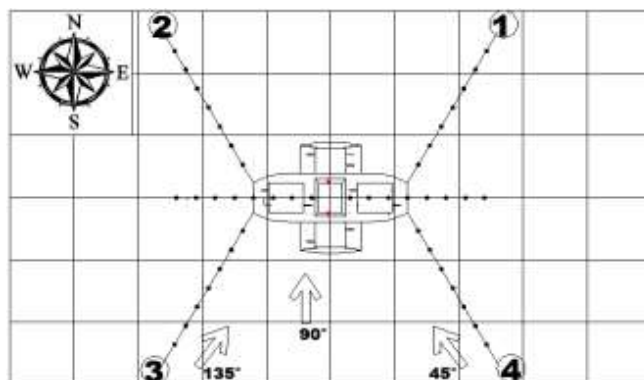
Tahun	10	25	50	100
Hs	0.74	0.97	1.14	1.32

Arah pembebanan yang di gunakan merupakan arah pembebanan menghasilkan efek signifikan yaitu arah 0°. 45°, 90°, 135°, dan 180° untuk kondisi collinier. Untuk

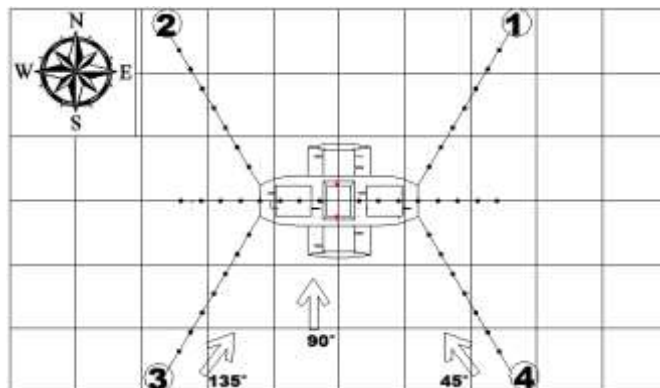
kondisi non collinier arah angin pembebanan yang signifikan yaaitu 45° , 90° , 135° dan untuk yang kondisi non collinier arah arus pembebanan yang signifikan sama dengan kondisi angin yaitu 45° , 90° , 135° .



Gambar 29. Arah Pembebanan Yang Di Gunakan Colinier



Gambar 30. Arah pembebanan Angin Yang di Gunakan Non Colinier



Gambar 31. Arah pembebanan Arus Yang di Gunakan Non Colinier

3.3.1 Data Spread Mooring Arrangement

Platform PLTAL beroperasi di perairan yang dalam (*deep water*), dan sistem tambat yang digunakan adalah model gabungan dari *chain* dan *wirerope* yang dihubungkan oleh buoy pada masing-masing sambungan line. Konfigurasi tersebut

agar tali mooring tidak tersentuh dan mengganggu kinerja turbin yang ada di atas platform ketika kondisi beroperasi. Adapun data kombinasi(segmentasi) pada masing masing tali tambat adalah sebagai berikut :

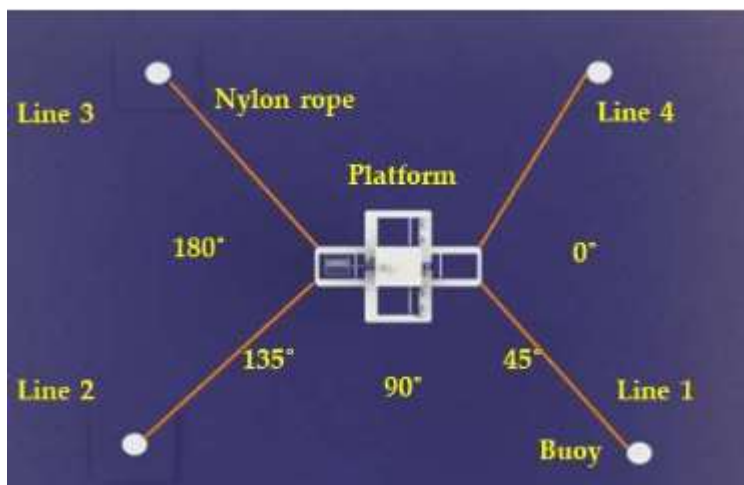
Tabel 6. Tabel Spesifikasi tali tambat

	Wire rope	Chain	
Panjang	30	250	m
Diameter	0,050	0,056	m
Massa	0,0011	0,013	Ton/m
Type	8-strand Multiplant	studless	
Spec	-	R4	
MBL	549	853	kN

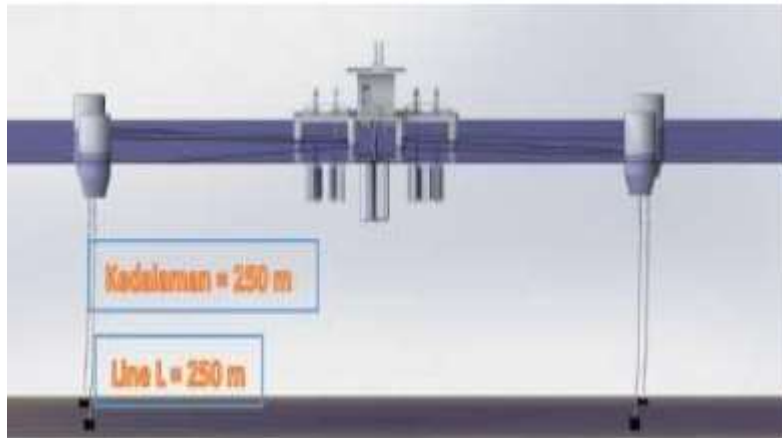
Tabel 7. Spesifikasi buoy

no	Ukuran utama		Buoy
1	Diameter		3 m
2	Tinggi		2,1 m
3	Volum		59,38 m3
4	mass		12,2 ton

Adanya Buoy disini adalah berfungsi sebagai pemisah antara nylon dengan chain, selain itu sebagai pelampung agar nylon tidak bersentuhan dengan bagian turbin yang ada pada platform.



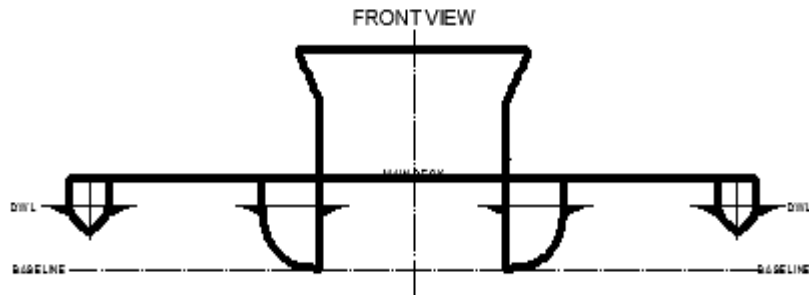
Gambar 32. Arah pembebanan Arus Yang di Gunakan Non Colinier



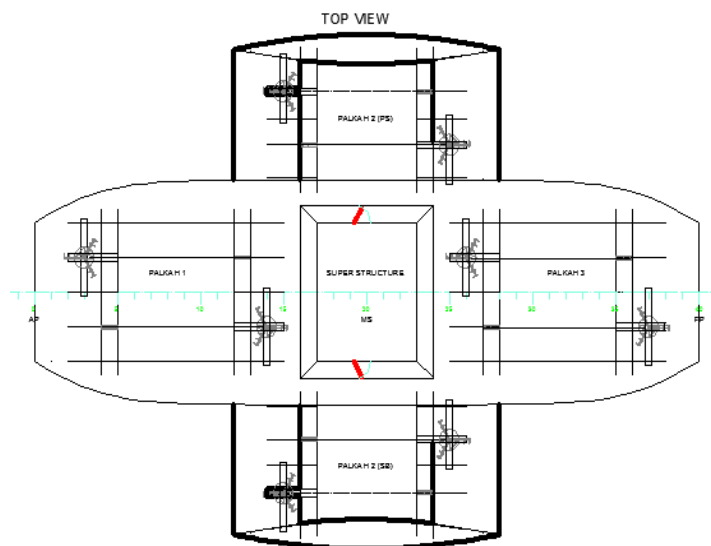
Gambar 33. Mooring system side view

“Halaman ini sengaja dikosongka

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 35. General arrangement Tampak Depan



Gambar 36. General arrangement Tampak Atas



Gambar 37. General arrangement Tampak Samping

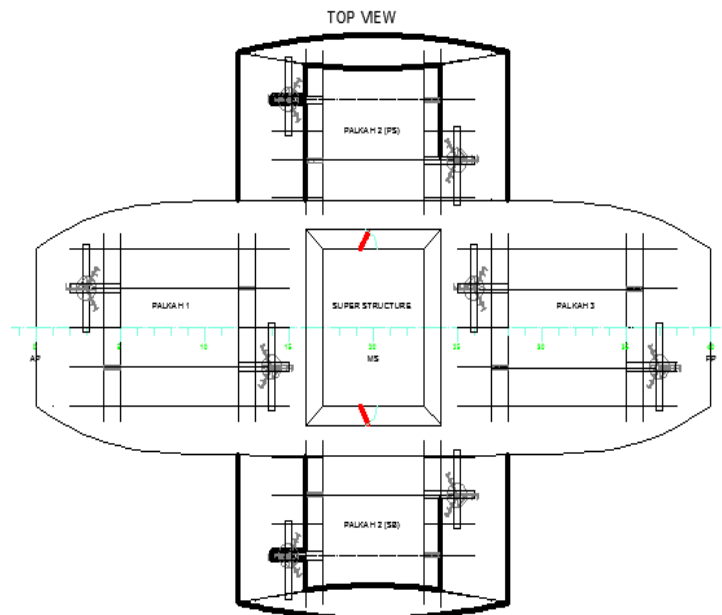
Pertama kalipermodelan dilakukan dengan menggunakan Autocad, output dari gambar adalah memperoleh bentuk rencana garis atau Lines plan dari platform PLTAL . adapun pembuatan lines plan juga digunakan untuk mengetahui bentuk badan struktur PLTAL yang berada pada garis bawah air dengan data-data yang sudah ada.

4.2 Permodelan Lambung

Pada permodelan lambung ini, dibuat dengan menggunakan software yang berbeda. Adapun beberapa permodelan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Pemodelan Dengan Autocad

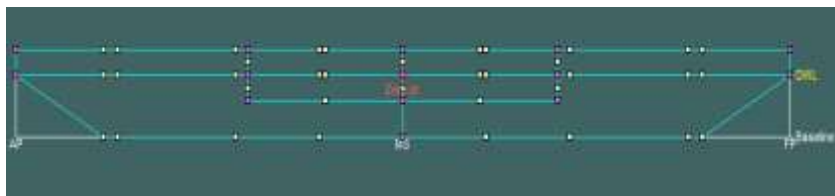
Pemodelan awal yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan *software* Autocad yang dapat diperoleh dari gambar 3.10. Dari Autocad dapat diperoleh koordinat yang dibutuhkan. Koordinat merupakan input yang digunakan untuk permodelan dengan MOSES.



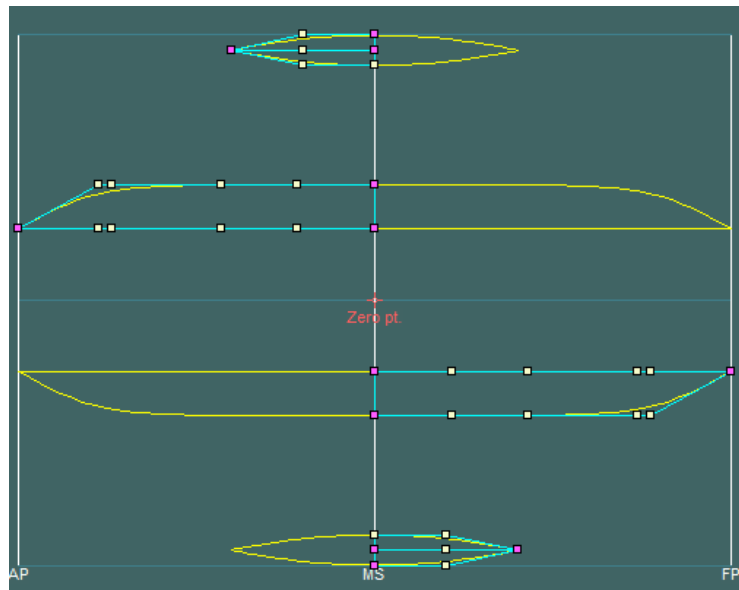
Gambar 38. Pemodelan Struktur Lambung Floating Platform

Pemodelan Dengan Maxsurf

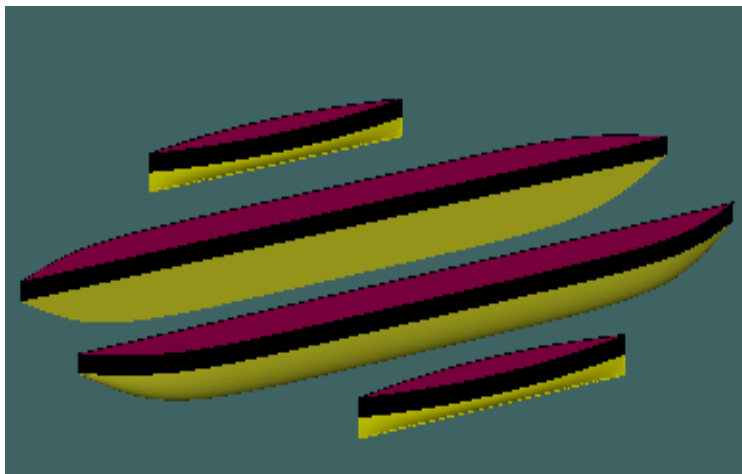
Pemodelan dengan maxsurf pada gambar dibawah ini bertujuan untuk mendapatkan *output hydrostatic* dari lambung *floating platform*. Output hydrostatic yang diperoleh adalah dalam kondisi muatan penuh. Setelah itu jika sudah didapat maka akan dilakukan validasi dengan software MOSES dan data yang ada.



Gambar 39. Pemodelan Maxsurf Pandangan Samping



Gambar 40. Pemodelan Maxsurf Pandangan Atas



Gambar 41. Pemodelan Maxsurf Pandangan Prespective

Hydrostatics at DWL

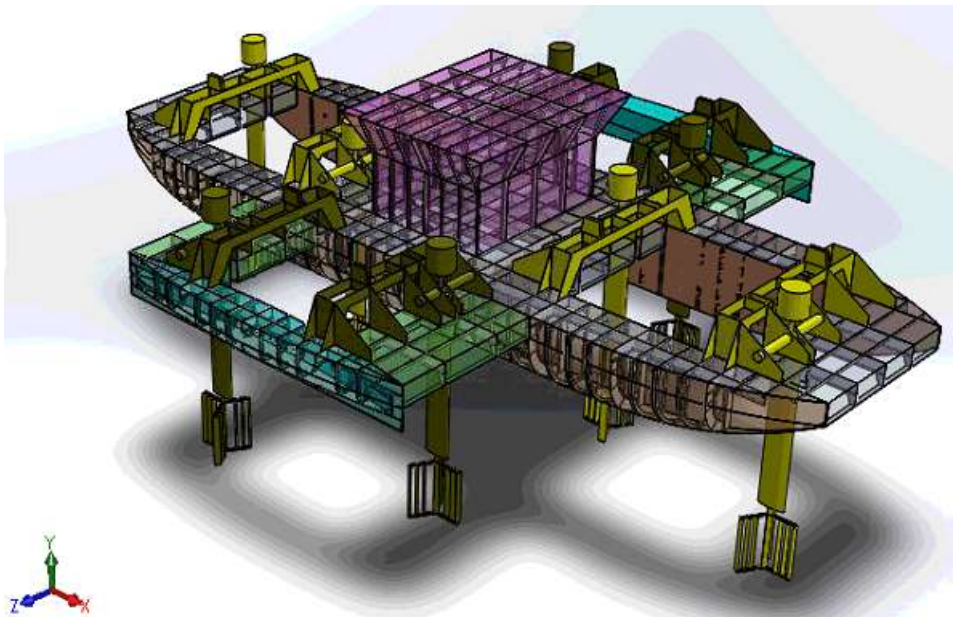
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	44.93	t
2	Volume (displaced)	43.835	m ³
3	Draft Amidships	1.250	m
4	Immersed depth	1.250	m
5	WL Length	20.000	m
6	Beam max extents o	14.850	m
7	Wetted Area	132.107	m ²
8	Max sect. area	3.205	m ²
9	Waterpl. Area	51.373	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.684	
11	Block coeff. (Cb)	0.118	
12	Max Sect. area coeff	0.173	
13	Waterpl. area coeff.	0.173	
14	LCB length	-10.000	from z
15	LCF length	-10.000	from z
16	LCB %	-50.000	from z
17	LCF %	-50.000	from z
18	KB	0.753	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMT	16.636	m
21	BML	25.158	m
22	GML corrected	17.389	m
23	GML	25.911	m
24	KMt	17.389	m
25	KML	25.911	m
26	Immersion (TPC)	0.527	tonne/c
27	MTc	0.582	tonne.
28	RM at 1deg = GML/DI	13.635	tonne
Density (water)		1.025	tonne/m ³

Gambar 42. Output Hydrostatic Maxsuf Muatan Penuh

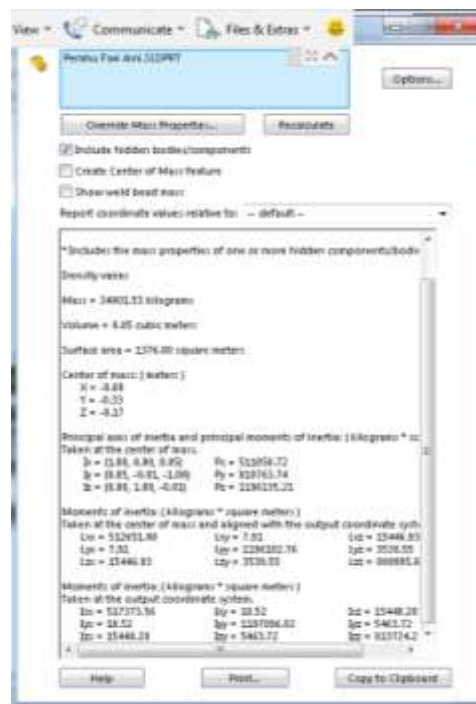
Dari gambar 40 dikalkulasi *hydrostatic* dapat dihasilkan bahwa berat dari lambung platform sebesar 44.93 ton karena di pengaruhi oleh berat dari kontruksi lambung itu sendiri, berat dari peralatan yang ada diatas geladak dan berat dari turbin yang masing-masing berada didepan dan belakang geladak main hull. Bias juga dikatakan berat platform beserta muatannya. Setelah dilakukan pemodelan maka model dari lambung *floating platform* divalidasi supaya yang dimodelkan mendekati seperti yang dilapangan. Dalam validasi ini digunakan draft lambung *floating platform* 1.25 meter. Untuk lambung *floating platform* dengan kondisi asli memiliki diplasment sebesar 44.896 ton. Sedangkan lambung *floating platform* 44.93 ton. Perbandingan antara diplasment 99.91% sehingga model lambung *floating platform* yang digunakan medekati kondisi dilapangan.[]

4.1.3 Pemodelan Dengan Solidwork

Permodelan pada solidwork dilakukan secara detail modeling sesuai dengan gambar konstruksi dan gambar platform sesuai dengan ketebalan plat dan ukuran-ukuran- ukuran pendukung plat seperti, penegar-penegat melintang dan braket. Tujuan dilakukannya modeling pada solidwork ini adalah untuk mengetahui peletakan-peletakan peralatan yang ada pada platform dan mengkalkulasikan jumlah displasmen serta momen inersia yang terjadi pada platform. Dari Perhitungan momen inersia ini akan diperoleh nilai rxx,ryy,rzz, atau radius girasi platform yang kemudian akan menjadi input pada software yang selanjutnya yaitu Moses Software. Nilai dari momen inersia pada platform dapat dilihat pada gambar 22. Dan hasil perolehan mimen inersia dapat dilihat pada table



Gambar 43. Permodelan menggunakan Software solidwork



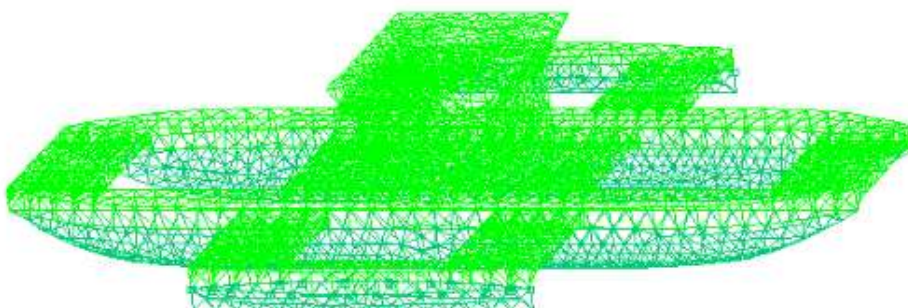
Gambar 44. Pemodelan Lambung Tampak Samping

Tabel 9. Table hasil perhitungan dengan solidwork

<i>moment of inertia</i>		x	y	z
		517,37	1197,10	813,72
<i>center of gravity</i>		0,00	-0,33	-0,17
<i>raidus of gyration</i>		Ixx	Iyy	Izz
		3,855	5,86	4,84
<i>area and area moment</i>		surge	sway	yaw
		2,65	31,18	31,28
<i>drag due to yaw factor</i>		surge	sway	yaw
		0	0	2,81E+08

4.1.4 Permodelan pada Moses

Pemodelan pada MOSES seperti pada gambar dibawah dilakukan setelah diperoleh koordinat ketika dilakukan pemodelan dengan Autocad. Pada *software* MOSES dilakukan pemodelan lambung *floating platform* dalam kondisi terapung bebas. Pemodelan ini bertujuan untuk mendapatkan *Response Amplitude Operation* (RAO) dalam kondisi terapung bebas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 45. Pemodelan dengan Moses

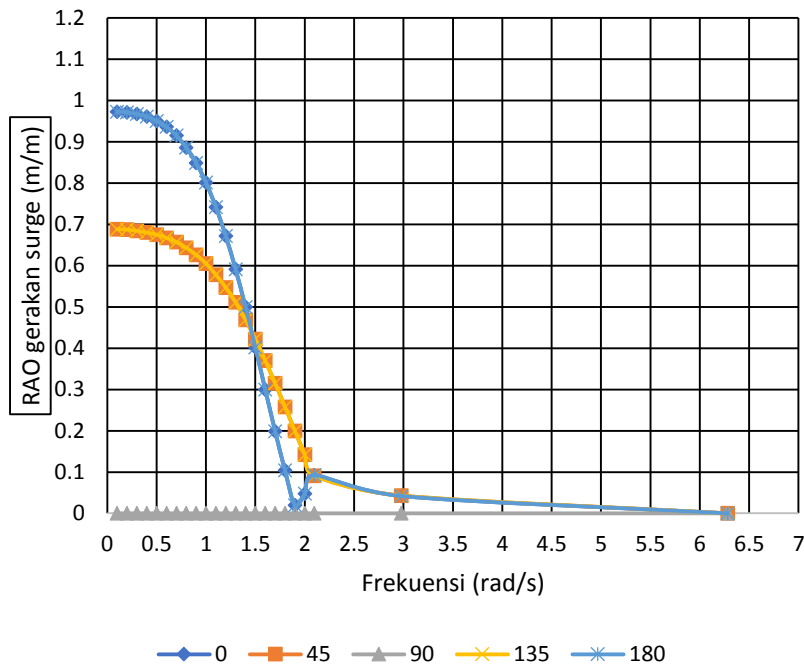
]

4.3 Analisa Perilaku Lambung *Floating Platform*

Analisa ini menghasilkan gerakan respon dari platform dalam keadaan free floating pada gelombang reguler. Input yang dibutuhkan yaitu sarat air, arah pembebanan, jari-jari girasi, center of gravity, arah datang beban, dan titik acuan RAO motion. Setelah itu dapat dilakukan analisa gerak struktur dalam keadaan free floating dari model yang dibuat dari Moses ini sehingga didapatkan perilaku olah gerak dari struktur terhadap 6 derajat kebebasan gerak bangunan apung tanpa adanya sistem mooring. RAO tersebut dijabarkan dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six degree of freedom*) *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Data RAO ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak lambung *floating platform* saat terapung bebas (free floating) pada gelombang reguler. Grafik fungsi transfer/RAO akan disajikan dengan absis (sumbu-x) berupa wave frequency (rad/s) dan sumbu-y berupa

besar RAO (m/m), untuk gerakan translasional dan deg/m, untuk gerakan rotasional. Berikut ditampilkan hasil dari analisis RAO untuk tiap moda gerakan.

4.1.5 Analisa RAO Gerakan Surge

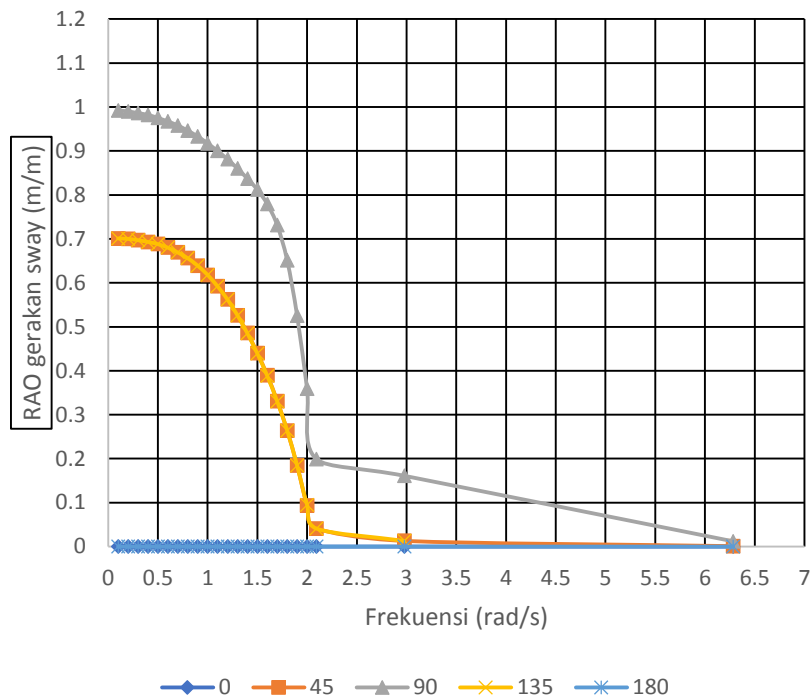


Gambar 1. RAO Surge Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° dan 180° memiliki RAO yang hampir sama karena bentuk geometri dari lambung *floating platform* yang terbentuk dengan desain simetris. Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO terbesar sama tinggi 0.699 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi 2.0 rad/s. sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO tertinggi 0.0000 m/m pada frekuensi 0.00 rad/s, hal ini gelombang arah 90° tidak begitu berpengaruh untuk terjadinya gerakan *surge*.

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti pada gambar 44. bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang haluan dan buritan (arah 0° dan 180°) dengan RAO tertinggi masing-masing sebesar 0.9- 0.973m/m dengan frekuensi 1.58-2.0 rad/sec. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 2.0 rad/s.

4.1.6 Analisa RAO Gerakan Sway

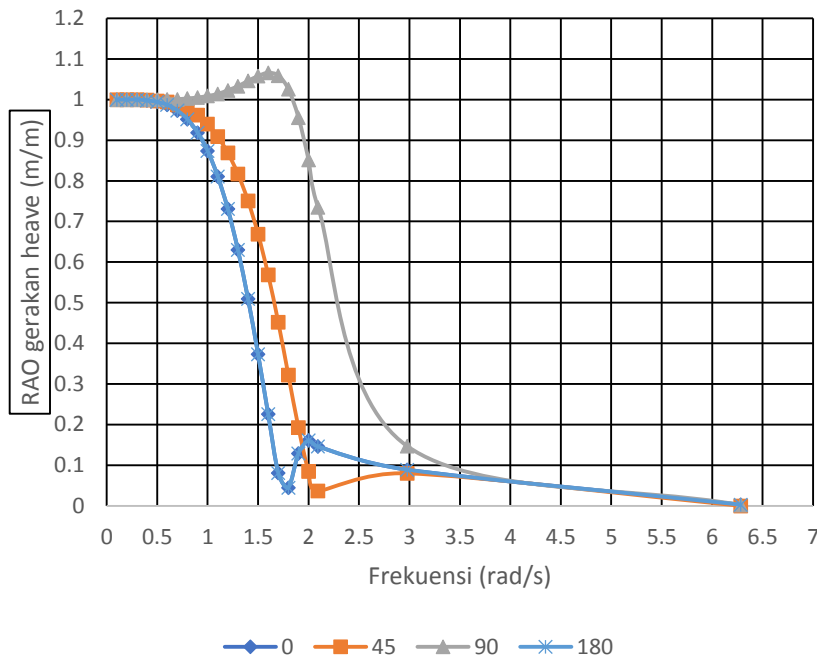


Grafik 2. RAO Sway Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Gerakan *surge* dan *sway* memiliki karakteristik kurva yang bias dikatakan hampir sama, hanya memiliki perbedaan pada arah datang gelombang yang berpengaruh signifikan terhadap struktur. Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan sway didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°). Pada gelombang perempat (arah 45° dan 135°) intensitas gerakan sedikit menurun.

Gerakan *sway* secara teoritis tidak terjadi pada gelombang buritan maupun haluan, seperti gambar 4.11 arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel pada sumbu-x dan memiliki nilai RAO 0.0000 m/m. RAO gerakan sway tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 1.000 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama besar 0.700 m/m. semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi 2.1 rad/s. sedangkan gelombang arah 0° dan 180° tidak memberikan efek terhadap gerakan sway.

4.1.7 Analisa RAO Gerakan Heave



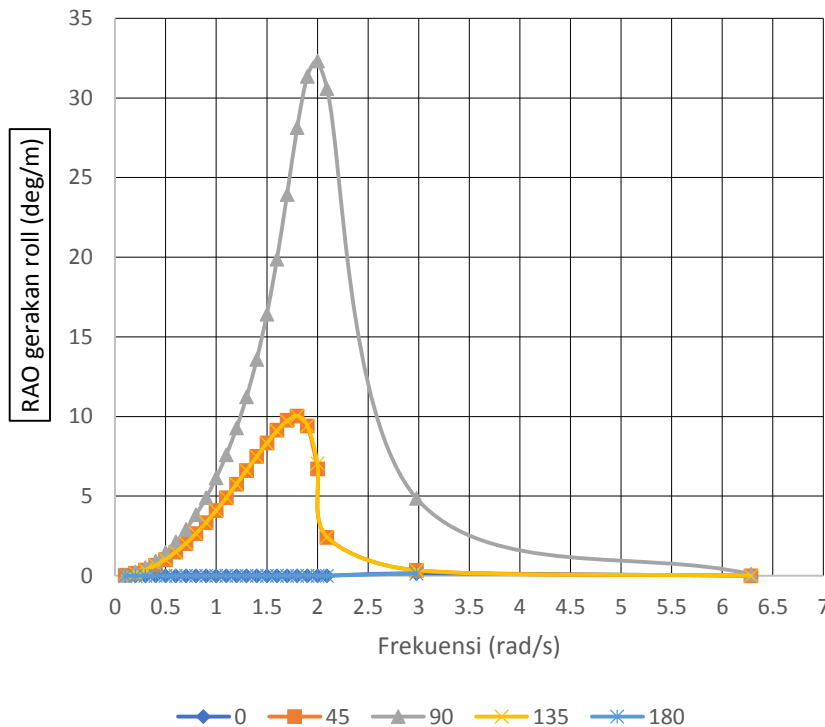
Grafik 3. RAO Heave Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan vertical bangunan apung. Seperti grafik 4.18 nilai kisaran terbesar semua sudut adalah 1.0 – 1.085 m/m dengan frekuensi 1.8-2.2 rad/sec.

Kemudian bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai 0. RAO gerakan *heave* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi arah (90°) sebesar 1.085 m/m, terjadi pada frekuensi 2.2 rad/s. Diikuti oleh gelombang (arah 0° dan 180°) memberikan efek kecil sebesar 0.157 m/m. semua terjadi pada frekuensi 2.0 rad/s. sedangkan untuk gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 0.165 m/m semua terjadi pada frekuensi 2.0 rad/s. mengalami penurunan sebesar 0.05 m/m dengan frekuensi 1.78 rad/s.

Selisih antara RAO pada tiap arah pembebanan tergolong kecil. Hal ini disebabkan karena hull yang terkena gelombang berbentuk kolom-kolom yang tersusun secara simetris. Sehingga pengaruh dari arah gelombang manapun akan mengakibatkan gejala kemiripan yang tampak jelas. Dari informasi RAO *heave* diatas, bisa disimpulkan bahwa gerakan *heave* terbesar ada pada arah 90°. Informasi ini sangat penting bahwa penentuan heading dari lambung *floating platform* agar respon yang terjadi pada struktur lambung *floating platform* bias dimaksimalkan.

4.1.8 Analisa RAO Gerakan Roll

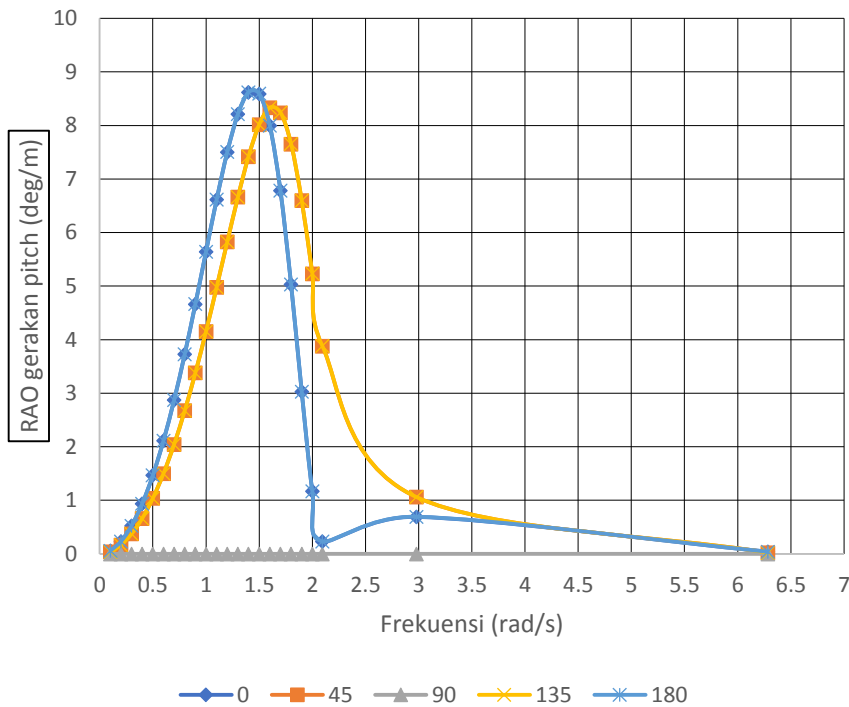


Gambar 4. RAO Roll Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Gerakan roll merupakan salah satu pola gerakan rotasional bangunan apung. Pada gambar 4.19 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerakan roll mendapatkan nilai yang kecil, kemudian naik begitu landa dan habis itu naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi).

Karakteristik gerakan roll akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°) kemudian gelombang prempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa RAOnya adalah 0. RAO gerakan roll memiliki kenaikan pada daerah resonansi terbesarnya yaitu gelombang sisi (arah 90°) sebesar 30.25 deg/m yang terjadi pada frekuensi 2.0 rad/s. Diikuti oleh RAO dari gelombang prempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tinggi yaitu 10.0 deg/m, nilai RAO tersebut juga terjadi pada frekuensi 1.6 rad/s.

4.1.9 Analisa RAO Gerakan Pitch

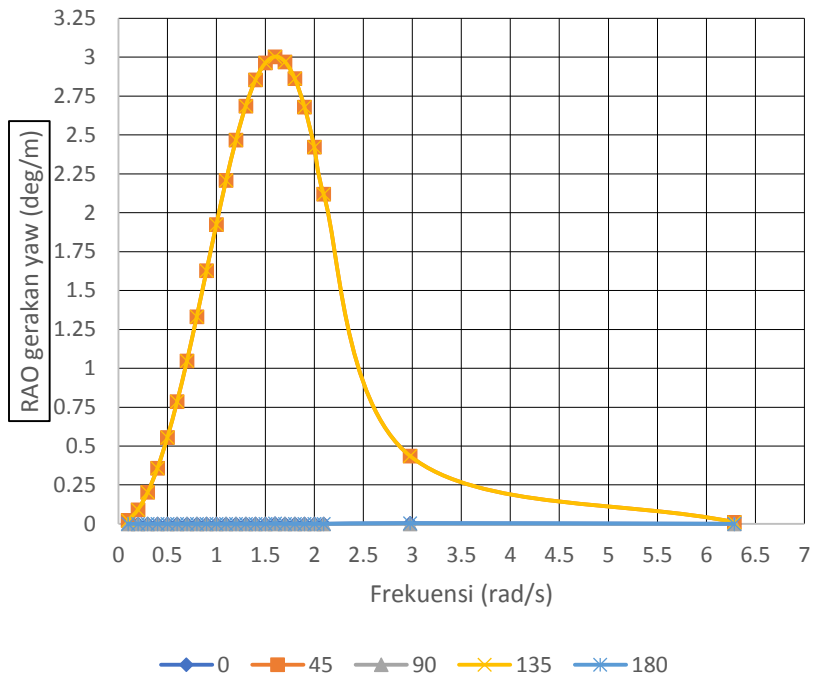


Grafik 5. RAO Pitch Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Pada gambar 4.20 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang arah 0° dan 180° . Kemudian gerakan akibat gelombang perempat (arah 45° dan 135°), dan gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil. RAO gerakan pitch memiliki kenaikan tajam pada arah datang gelombang haluan (0°) dengan nilai 8.96 deg/m sama dengan dengan RAO dari arah gelombang buritan (180°) sebesar 8.96 deg/m , dimana keduanya terjadi pada frekuensi 1.4 rad/s .

Kemudian selanjutnya RAO tertinggi dari arah 45° sebesar 8.422 deg/m yang terjadi pada frekuensi 1.6 rad/s dan dari arah 135° dengan nilai RAO yang sama yaitu 8.422 deg/m terjadi pada frekuensi 1.6 rad/s . Dan dari arah gelombang sisi (arah 90°) memiliki RAO yang paling kecil.

4.1.10 Analisa RAO Gerakan Yaw



Gambar 6. RAO Yaw Pada PLTAL Saat *Free Floating*

Untuk RAO gerakan yaw seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21 memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 3.0 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45) sebesar 3.0 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 1.65 rad/s. Untuk RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90) memiliki pengaruh, namun dalam skala yang kecil. Sedangkan gelombang buritan (arah 0) dan gelombang haluan (arah 180) tidak memiliki pengaruh terhadap gerakan yaw lambung *floating platform* karena memiliki nilai RAO 0 deg/m pada setiap frekuensi.

Dari keseluruhan pembahasan RAO lambung *floating platform* pada kondisi tertambat yang ditunjukkan oleh gambar 4.21 maka dapat disimpulkan bahwa gerakan lambung *floating platform* mengalami peredaman, utamanya pada gerakan heave dan roll. Hal ini artinya, keberadaan tali tambat pada lambung *floating platform* dapat mengurangi gerakan yang diakibatkan oleh gelombang dari kelima pembebanan.

Dari keseluruhan pembahasan RAO gerakan lambung *floating platform* pada kondisi tertambat yang ditunjukkan oleh gambar 4.9 – gambar 4.15 maka dapat disimpulkan bahwa gerakan gerakan lambung *floating platform* mengalami peredaman, utamanya pada gerakan heave dan roll. Hal ini artinya, keberadaan tali tambat pada gerakan

lambung *floating platform* dapat mengurangi gerakan yang diakibatkan oleh gelombang dari kelima arah pembebanan.

Tabel 10. Resume nilai RAO tertinggi kondisi operasional lambung floating platform saat terapung bebas (free floating)

	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
Arah 0°	0.97	0.00	0.15	0.00	8.96	0.00
Arah 45°	0.69	0.70	0.56	1.00	8.42	3.00
Arah 90°	0.00	1.00	1.08	30.25	0.00	0.00
Arah 135°	0.69	0.70	0.56	1.00	8.42	3.00
Arah 180°	0.97	0.00	0.15	0.00	8.96	0.00

4.4 Permodelan struktur Platform PLTAL pada OrcaFlex

Pemodelan Platform PLTAL pada *software OrcaFlex* dilakukan dengan memasukkan perilaku hidrodinamis dari hasil analisis dinamis MOSES dan parameter-parameter, yang terdiri dari - Geometri struktur (panjang, lebar, tinggi dan sarat air struktur)

- Geometri struktur (panjang, lebar, tinggi dan sarat air struktur)

Tabel 11. Ukuran Utama Platform PLTAL

Data Utama Platform			
Ukuran utama	Main Hull	Strager	satuan
Lpp	20,00	8,000	m
lebar	1,25	0,850	m
tinggi	1,75	1,000	m
sarat	1,25	0,530	m
koefisien blok	0,13	0,051	
vol displacement	20,45	1,604	m3

- *Displacement* Platform PLTAL dengan titik center of Gravity

Tabel 12. Displasmen dan COG Platform

Displacement	COG		
	X	Y	Z
44,9 ton	0,00	-0,33	-0,17

- **Momen Inersia dan Jari jari girasi**

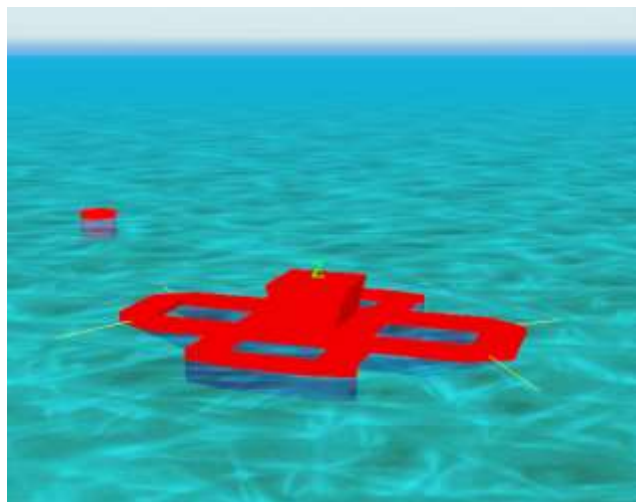
Momen inersia diperoleh dari permodelan Solidwork dihitung dan diolah melalui rumus menjadi nilai jari-jari girasi platform. adapun pendekatan untuk menghitung jari-jari girasi platform adalah sebagai berikut :

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{m}}, \quad r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{yy}}{m}}, \quad r_{zz} = \sqrt{\frac{I_{zz}}{m}} \quad (2.)$$

Maka dari pendekatan diatas didapatkan nilai jari-jari girasi seperti pada tabel 11.

Tabel 13. Momen Inersia dan jari-jari girasi

Mass	44,9		ton
Moment Of Inertia	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
	517,37	1197,10	813,72
Raidus Of Gyration	r_{xx}	r_{yy}	r_{zz}
	3,855	5,86	4,84

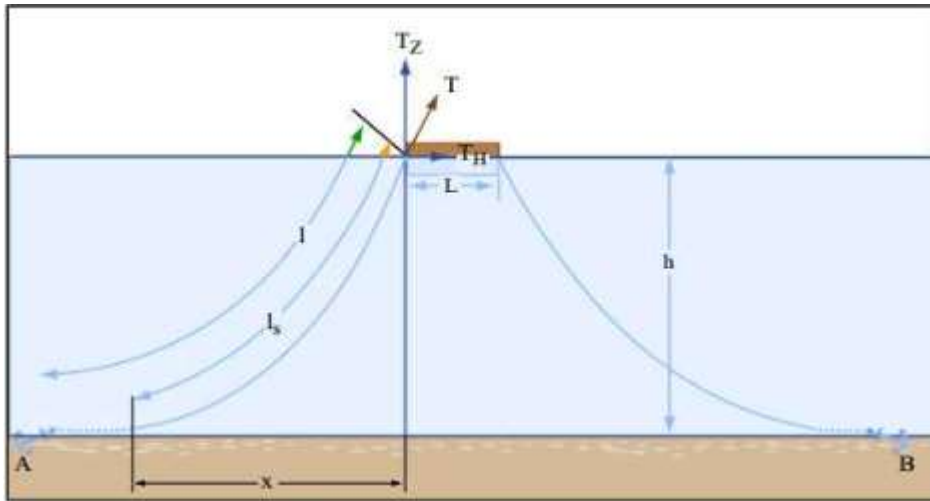


Gambar 46. Model Platform

4.5 Permodelan Mooring System dengan variasi peletakan Clump buoy

4.4.1 Perhitungan mooring line

Setelah bentuk geometri Platform PLTAL telah dimodelkan pada *software* OrcaFlex, langkah berikutnya adalah memodelkan tali tambat sesuai dengan konfigurasi dan variasi letak clump buoy yang telah ditentukan. Pertama-tama adalah dengan menentukan panjang *mooring line*. Perhitungan panjang *mooring line* dan radius horizontal x didasarkan pada buku *Design of Ocean Systems – Mooring Dynamics, 2011*. Langkah-langkah perhitungan panjang *mooring line* dan radius horizontal x adalah sebagai berikut :

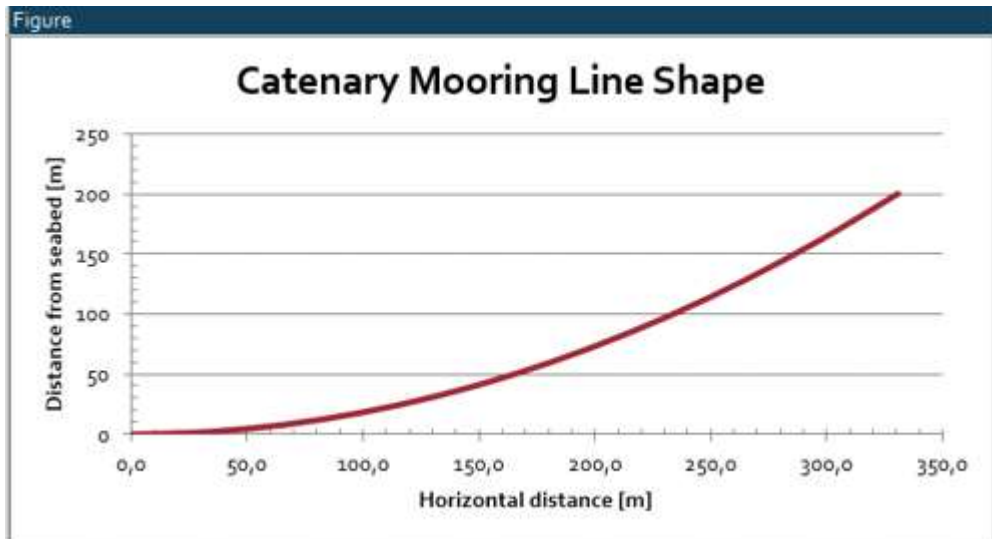


Gambar 47. Perhitungan catenary Mooring line

Tali tambat yang didesain lentur (*catenary*) dihitung berdasarkan persamaan *catenary*. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah kondisi dasar laut yang datar dan mengabaikan kekakuan *bending*. Asumsi dengan mengabaikan kekakuan *bending* pada *chain* telah disepakati secara luas, namun untuk jenis *wire rope* hanya rope dengan *curvature* kecil yang masih memadai jika menggunakan persamaan *catenary* (MIT, 2011)

Tabel 14. Tabel perhitungan mooring line

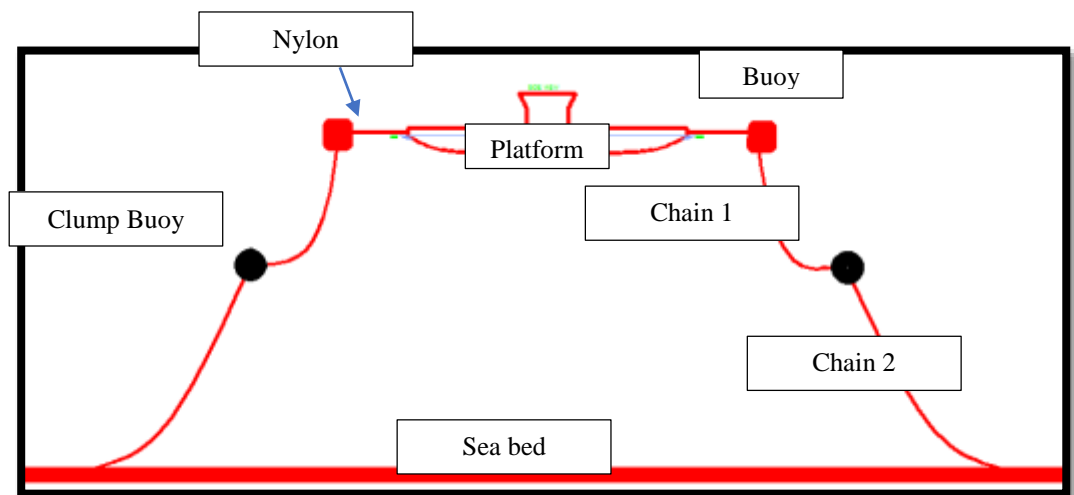
Input parameters			
waterdepth plus the distance between sealevel and the fairlead	d	200,00	[m]
force applied to the mooring line at the fairlead	F	387,0	[t]
normalized thread diameter	D	0,26	[m]
submerged density of the line material (steel in air = 7,8)	ρ	7,9	[t/m ³]
Results			
horizontal distance between the fairlead and the touchdown point of the mooring line on the seabed	x	388,00	[m]
weight of the suspended chain	V	11,6	[t]
cross sectional area of the thread	A	0,05	[m ²]
unit weight of the mooring line in water	w	0,03	[t/m]
normalized horizontal tension component	T_0	265,0	[t]
length of the suspended mooring line	S	413,00	[m]
catenary shape parameter	b	0,01553	[-]



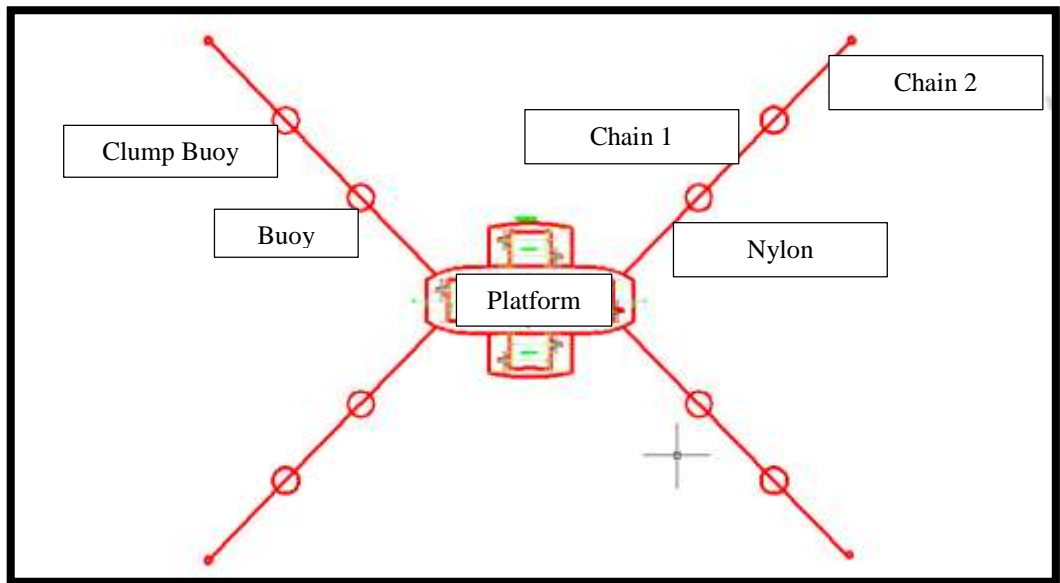
Gambar 48. Grafik bentuk catenary mooring line

4.4.2 Permodelan mooring sistem dngan penambahan clumpbuoy

Dari Tabel. 12 diperoleh nilai panjang minimum mooring line (S) dan radius horizontal (X) dengan kedalaman seabed (d). kemudian terbentuklah susunan mooring sistem yang baru. Selanjutnya dari panjang mooring line dapat ditentukan posisi Clump buoy dengan variasi 40%, 50% dan 60% terhadap panjang mooring line. penggambaran rencana atau layout model mooring system dapat dilihat pada gambar 47-48 Sebagai berikut



Gambar 49. Lay out mooring system (side view)



Gambar 50. Layout mooring system (top View)

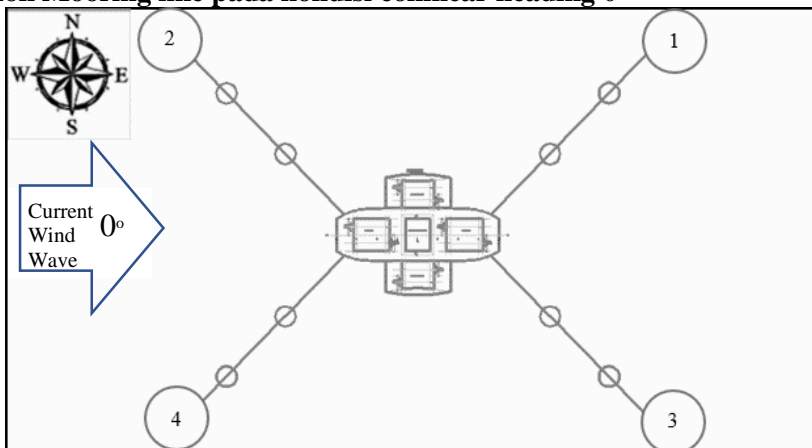
Gambar diatas merupakan design rencana layout yang akan dibuat. Selanjutnya berikut merupakan koordinat penggambaran dan jarak letak mooring system dapat dilihat pada table 15. Untuk desain variasi peletakan clump buoy dapat di lihat pada lampiran

Tabel 15. Table koordinat penggambaran mooring system

Horizontal		panjang line		x	y	z
		Chain 1	Chain 2			
		413,8		290	250	-200
Vertical	40%	165,52	248,28	116	100	-80
	50%	206,9	206,9	145	125	-100
	60%	248,28	165,52	174	150	-120
Clump Buoy Position				11,6	10	-8
				127,6	110	-88
				156,6	135	-108
				185,6	160	-128
Ancore Position				281,3	242,5	0

4.6 Analisa Moorin Tension dan Excursion Pada mooring system

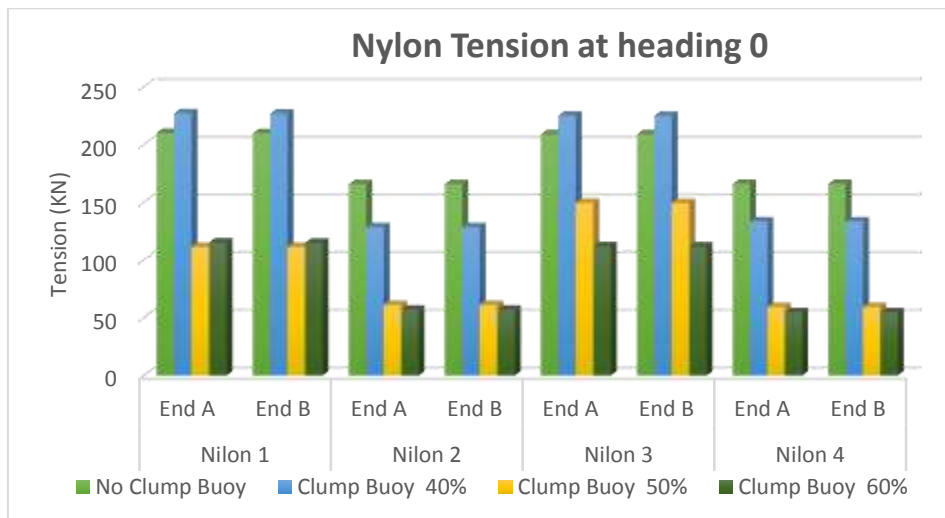
4.4.3 Tension Mooring line pada kondisi collinear heading 0°



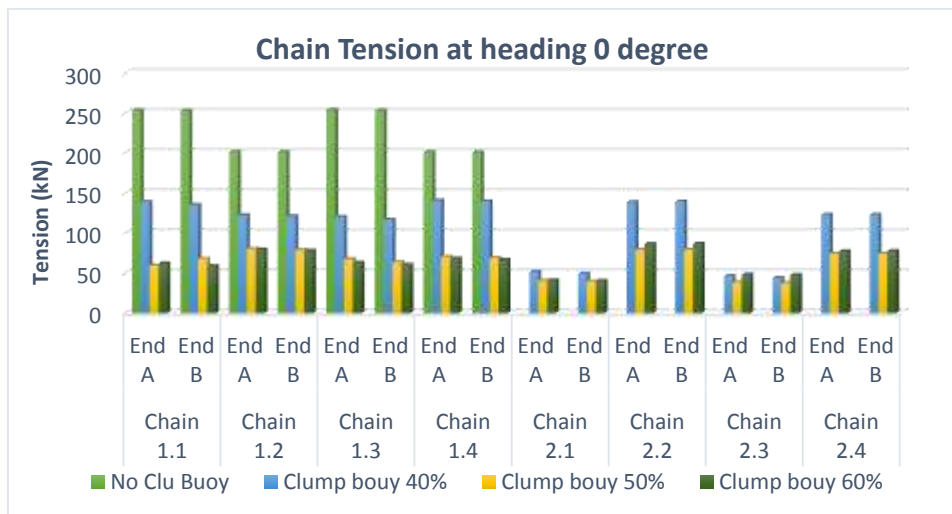
Gambar 51. Heading 0o Collinear

Tabel 16. Tension mooring line kondisi linear 0°

Condition		Lines		Tension (kN)				Clashing Report
				No Clump buoy	Clump buoy			
					40%	50%	60%	
Heading 0°	Collimier	Nilon 1	End A	209,97	226,93	111,28	115,11	No Clashing
			End B	209,8	226,81	111,27	115	
		Nilon 2	End A	165,67	128,35	61,05	57,05	
			End B	165,77	128,37	61,02	57,04	
		Nilon 3	End A	209,09	225,06	149,42	111,88	
			End B	208,93	224,93	149,34	111,76	
		Nilon 4	End A	165,96	133,43	59,28	54,74	
			End B	166,06	133,42	59,25	54,74	
		Chain 1.1	End A	253,33	138,41	59,25	61,94	
			End B	252,72	135,09	67,59	58,59	
		Chain 1.2	End A	201,2	122,28	80,09	79,17	
			End B	201,07	120,94	78,73	77,79	
		Chain 1.3	End A	253,84	120,06	67,16	62,54	
			End B	253,23	116,52	63,48	60,16	
		Chain 1.4	End A	200,73	140,58	70,18	67,92	
			End B	200,58	139,49	68,91	66,42	
		Chain 2.1	End A		51,49	40,5	40,52	
			End B		49,09	39,4	39,95	
		Chain 2.2	End A		138,46	79,06	86,23	
			End B		139,17	79,03	86,45	
		Chain 2.3	End A		46,37	38,4	47,9	
			End B		43,92	37,39	47,37	
		Chain 2.4	End A		122,73	74,11	77,03	
			End B		122,88	74,11	77,23	



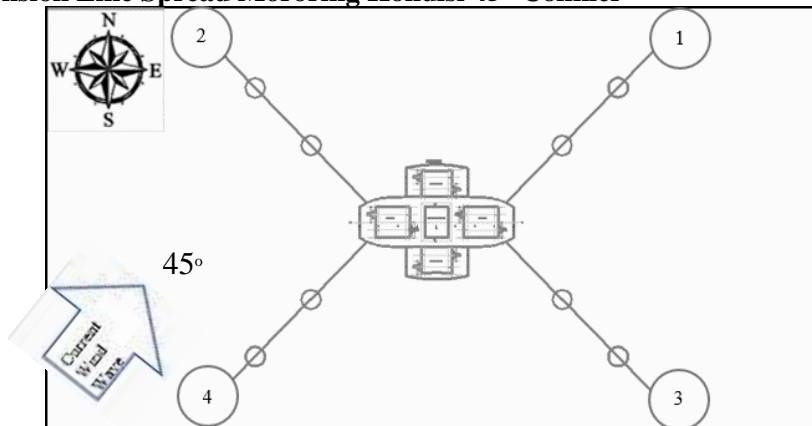
Gambar 52. Grafik Tension Tali Tambat Nylon pada collinear 0°



Gambar 53. Chain Tension at heading 0 degree

Dari kondisi *heading* 0° dapat di lihat karateristik tegangan line pada simulasi selama 3 jam (10800 detik) menggunakan teori *time to domen* didapatkan tension pada tiap mooring line. Dari hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada mooring line no clump pada *chain* dan *nylon*, didapatkan bahwa *tension* maksimum pada rantai adalah sebesar 253,84 kN dan tension maksimum pada nylon untuk menambatkan kapal pada buoy adalah sebesar 209,97 kN. Sedangkan pada mooring arrangement menggunakan clump buoy, pada segmen Nylon, Tension maksimum pada 40% sebesar 226,93 kN, 50% sebesar 149,42 kN, dan 60% sebesar 115,11 kN. Pada segmen Chain 1, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 138 kN, 50% sebesar 80,09 kN, dan 60% sebesar 79,17 kN. Pada segmen Chain 2, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 138,46 kN, 50% sebesar 79,06 kN, dan 60% sebesar 86,43 kN .

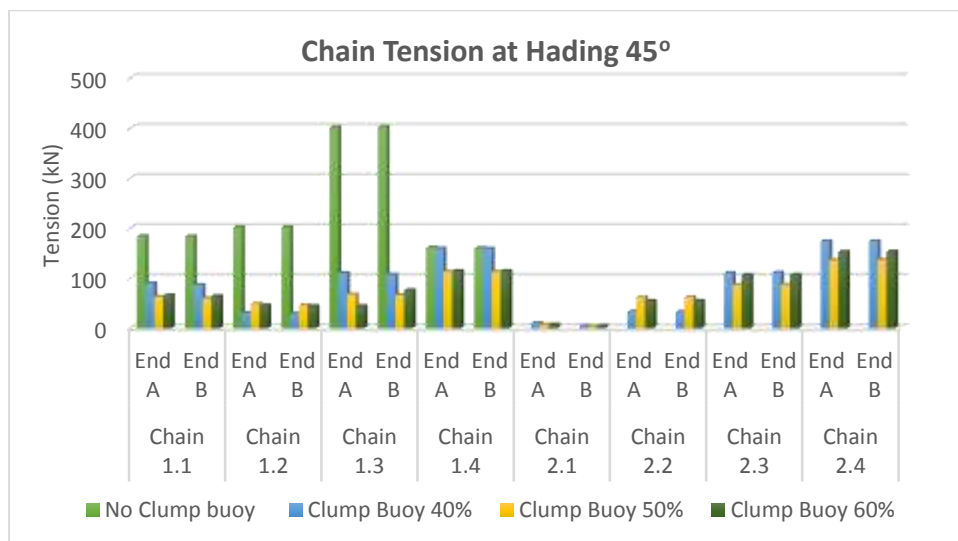
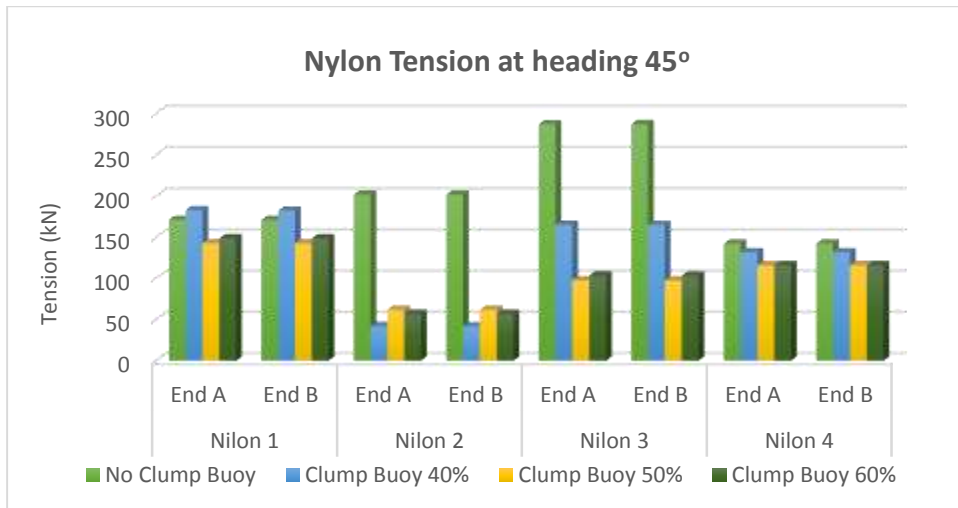
4.4.4 Tension Line Spread Mooring Kondisi 45° Colinier



Gambar 54. Spread Mooring Line 45° Kondisi Collinier

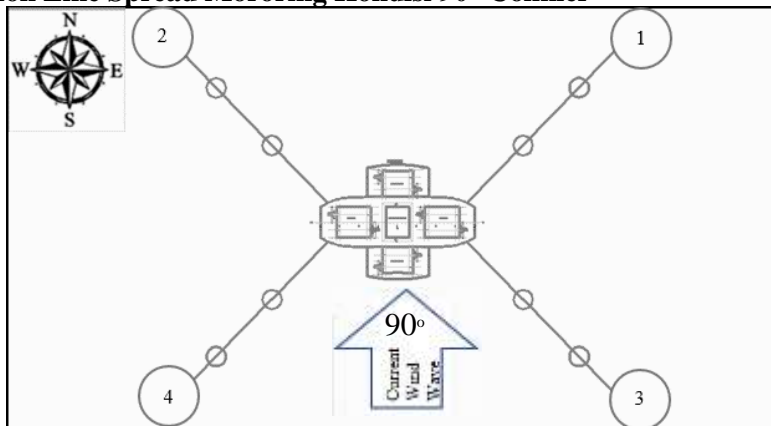
Tabel 16. Tension mooring line kondisi linear 45°

Condition		Lines		Tension (kN)				Clashing Report
				No Clump buoy	Clump buoy			
					40%	50%	60%	
Heading 45°	Collinier	Nilon 1	End A	170,81	182,54	142,4	148,46	No Clashing
			End B	170,67	182,08	142,22	148,35	
		Nilon 2	End A	201,42	41,77	61,76	56,7	
			End B	201,37	41,72	61,68	56,66	
		Nilon 3	End A	286,82	164,85	97,36	103,33	
			End B	286,89	164,59	97,31	103,18	
		Nilon 4	End A	142,16	131,55	115,77	115,93	
			End B	142,14	131,52	115,78	115,91	
		Chain 1.1	End A	183,24	89,61	62,64	64,88	
			End B	182,99	86,01	59,29	63,76	
		Chain 1.2	End A	201,42	30,22	48,42	45,12	
			End B	201,37	28,55	45,74	43,37	
		Chain 1.3	End A	400,79	109,83	66,99	43,37	
			End B	401,73	106,37	65,84	75,25	
		Chain 1.4	End A	160,38	159,16	112,88	113,76	
			End B	159,51	158,62	112,29	113,69	
		Chain 2.1	End A		9,85	6,66	6,56	
			End B		3,6	3,02	4,22	
		Chain 2.2	End A		32,73	61,74	54,25	
			End B		32,11	61,71	54,25	
		Chain 2.3	End A		109,96	86,1	105,89	
			End B		110,55	86,36	106,5	
		Chain 2.4	End A		173,68	135,6	152,06	
			End B		173,68	136,11	152,46	



Dari kondisi *heading* 0° dapat di lihat karakteristik tegangan line pada simulasi selama 3 jam (10800 detik) menggunakan teori *time to domen* didapatkan tension pada tiap mooring line. Dari hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada mooring line no clump pada *chain* dan *nylon*, didapatkan bahwa *tension* maksimum pada rantai adalah sebesar 401,73 kN dan tension maksimum pada nylon untuk menambatkan kapal pada buoy adalah sebesar 286,89 kN. Sedangkan pada mooring arrangement menggunakan clump buoy, pada segmen Nylon, Tension maksimum pada 40% sebesar 182,54 kN, 50% sebesar 142,40 kN, dan 60% sebesar 148,46 kN. Pada segmen Chain 1, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 159,16 kN, 50% sebesar 112,88 kN, dan 60% sebesar 113,76 kN. Pada segmen Chain 2, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 173,68 kN, 50% sebesar 135,60 kN, dan 60% sebesar 152,46 kN. **Tabel 4.4.** Tabel Kondisi Heading 45°

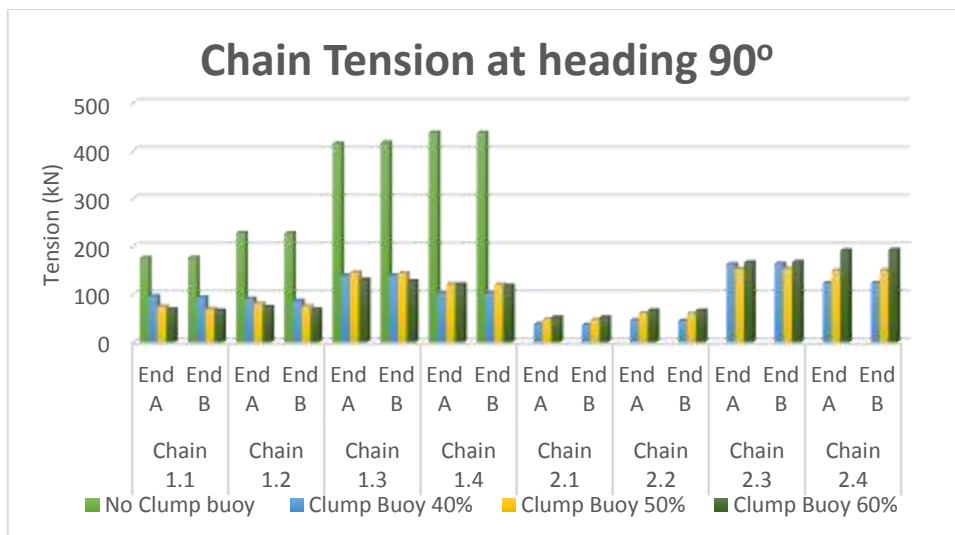
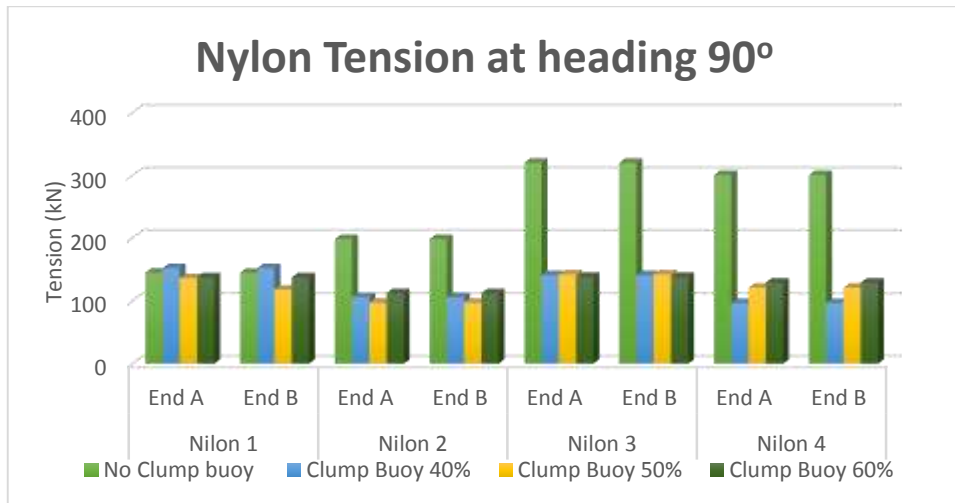
4.4.5 Tension Line Spread Mororing Kondisi 90° Colinier



Gambar 55. Grafik Tension Tali Tambat 45°

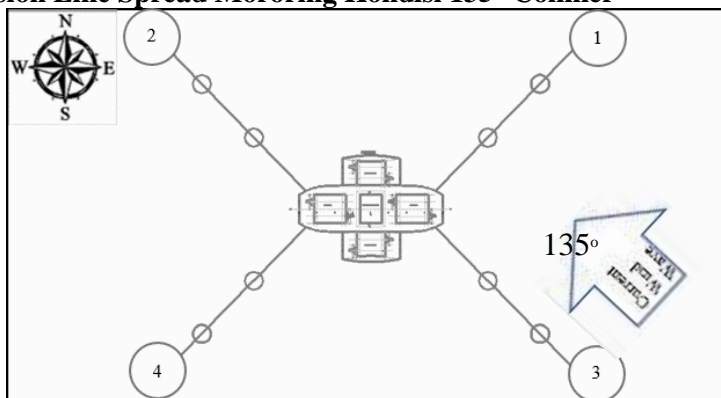
Tabel 17. Tension Line Spread Mororing Kondisi 90° Colinier

Condition		Lines		Tension (kN)				Clashing Report
				No Clump buoy	Clump buoy			
					40%	50%	60%	
Heading 90°	Collinier	Nilon 1	End A	144,98	152,39	136,11	137,43	No Clashing
			End B	144,88	152,39	117,93	137,41	
		Nilon 2	End A	198,83	106,05	97,12	112,17	
			End B	198,67	105,97	97,05	112,13	
		Nilon 3	End A	320,25	141,16	142,28	138,14	
			End B	320,28	141,12	142,29	138,13	
		Nilon 4	End A	300,72	96,59	121,15	129,13	
			End B	300,74	96,58	121,14	129,13	
		Chain 1.1	End A	176,08	96,13	74,4	68,13	
			End B	176,49	93,21	69,22	65,85	
		Chain 1.2	End A	228,4	90,86	80,23	73,37	
			End B	227,87	86,6	74,93	68,2	
		Chain 1.3	End A	415,12	139,58	145,64	130,24	
			End B	417,13	139,58	144,05	127,56	
		Chain 1.4	End A	437,61	102,47	121,22	120,77	
			End B	437,62	101,82	119,83	118,16	
		Chain 2.1	End A		37,77	47,28	51,79	
			End B		36,38	46,55	51,67	
		Chain 2.2	End A		46,09	60,4	66,29	
			End B		44,8	59,62	65,86	
		Chain 2.3	End A		163,11	153	166,42	
			End B		163,74	153,43	167,43	
		Chain 2.4	End A		123,57	149,9	191,71	
			End B		123,77	150,56	192,74	



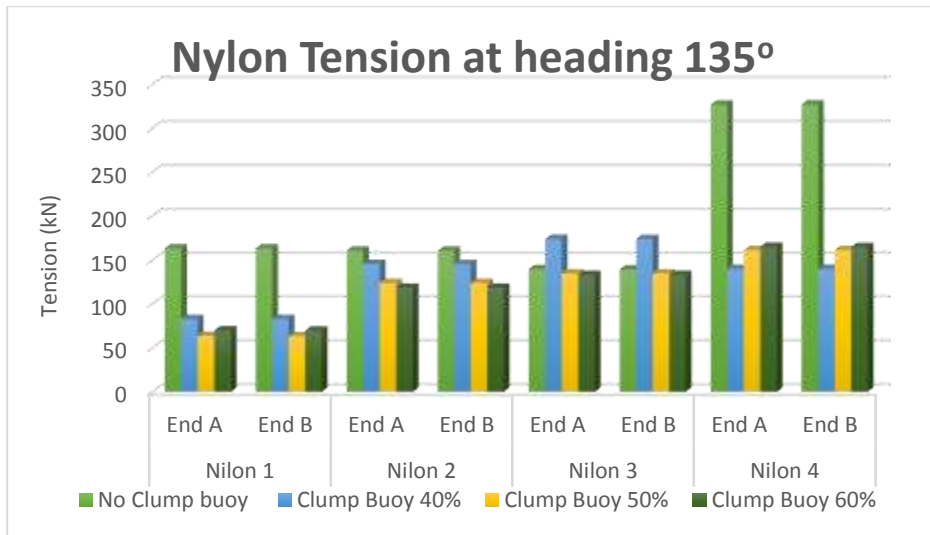
Dari kondisi *heading* 90° dapat di lihat karakteristik tegangan line pada simulasi selama 3 jam (10800 detik) menggunakan teori *time to domen* didapatkan tension pada tiap mooring line. Dari hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada mooring line no clump pada *chain* dan *nylon*, didapatkan bahwa *tension* maksimum pada rantai adalah sebesar 401,73 KN dan *tension* maksimum pada nylon untuk menambatkan kapal pada buoy adalah sebesar 286,89 KN. Sedangkan pada mooring arrangement menggunakan clump buoy, pada segmen Nylon, Tension maksimum pada 40% sebesar 182,54 kN, 50 sebesar 142,40 kN, dan 60% sebesar 148,46 kN. Pada segmen Chain 1, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 159,16 kN, 50% sebesar 112,88 kN, dan 60% sebesar 113,76 kN. Pada segmen Chain 2, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 173,68 kN, 50% sebesar 135,60 kN, dan 60% sebesar 152,46 kN .

4.4.6 Tension Line Spread Mooring Kondisi 135° Colinier

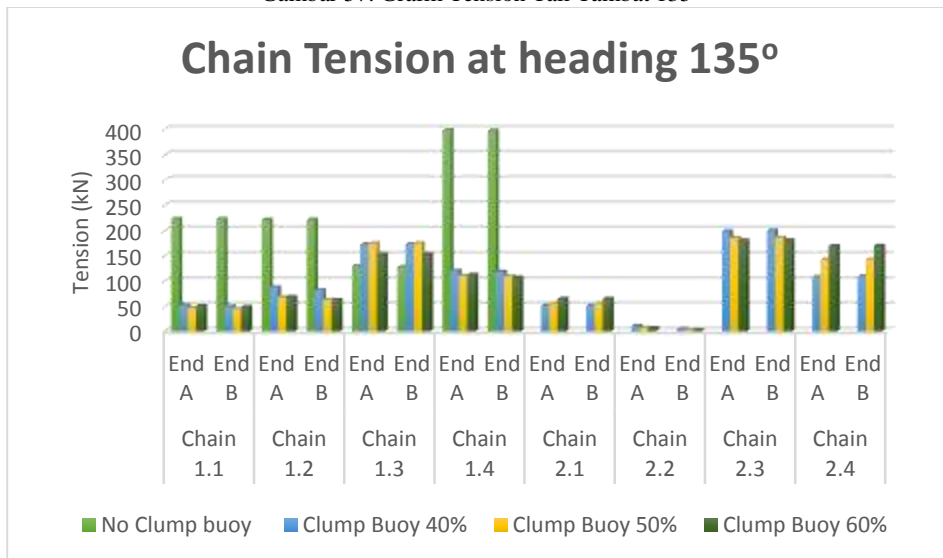


Gambar 56. Gambar 4.28. Spread Mooring Line 135° Kondisi Collinier
Tabel 18. Tabel Kondisi Heading 135°

Condition		Lines		Tension (kN)				Clashing Report
				No Clump buoy	Clump buoy			
					40%	50%	60%	
Heading 135°	Collimier	Nilon 1	End A	163,41	82,82	63,55	69,87	No Clashing
			End B	163,34	82,74	63,45	69,65	
		Nilon 2	End A	160,67	145,58	123,96	118,61	
			End B	160,66	145,45	123,9	118,47	
		Nilon 3	End A	139,6	174,06	134,9	132,96	
			End B	139,48	173,99	134,87	132,97	
		Nilon 4	End A	327,04	139,9	161,32	164,96	
			End B	327,23	139,82	161,32	164,9	
		Chain 1.1	End A	223,19	51,43	46,48	50,12	
			End B	222,44	49,19	44,67	48,08	
		Chain 1.2	End A	221,44	87,38	67,46	68,09	
			End B	221,38	81,4	62,62	62	
		Chain 1.3	End A	129,43	172,2	174,41	152,2	
			End B	127,46	172,59	174,58	152,5	
		Chain 1.4	End A	398,62	119,94	110,22	112,03	
			End B	398,03	117,88	108,54	106,37	
		Chain 2.1	End A		50,84	55,34	64,18	
			End B		50,73	55,28	64,26	
		Chain 2.2	End A		10,77	6,92	6,3	
			End B		4,16	2,79	2,25	
		Chain 2.3	End A		198,35	185,12	180,11	
			End B		199,63	185,95	180,52	
		Chain 2.4	End A		107,57	141,99	169	
			End B		108,44	142,3	169,68	

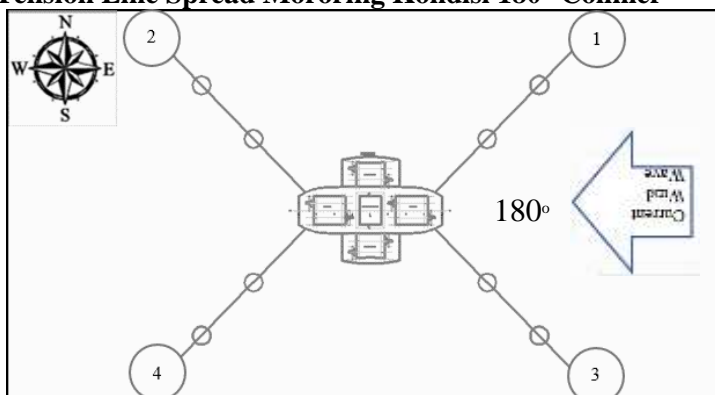


Gambar 57. Grafik Tension Tali Tambat 135°



Dari kondisi *heading* 135° dapat di lihat karateristik tegangan line pada simulasi selama 3 jam (10800 detik) menggunakan teori *time to domen* didapatkan tension pada tiap mooring line. Dari hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada mooring line no clump pada *chain* dan *nylon*, didapatkan bahwa *tension* maksimum pada rantai adalah sebesar 226,88 kN dan tension maksimum pada nylon untuk menambatkan kapal pada buoy adalah sebesar 289,83 kN. Sedangkan pada mooring arrangement menggunakan clump buoy, pada segmen Nylon, Tension maksimum pada 40% sebesar 214,42 kN, 50% sebesar 161,32 kN, dan 60% sebesar 185, 65 kN. Pada segmen Chain 1, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 158,87 kN, 50% sebesar 174,58 kN, dan 60% sebesar 113,76 kN. Pada segmen Chain 2, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 120,16 kN, 50% sebesar 185,85 kN, dan 60% sebesar 136,59 kN .

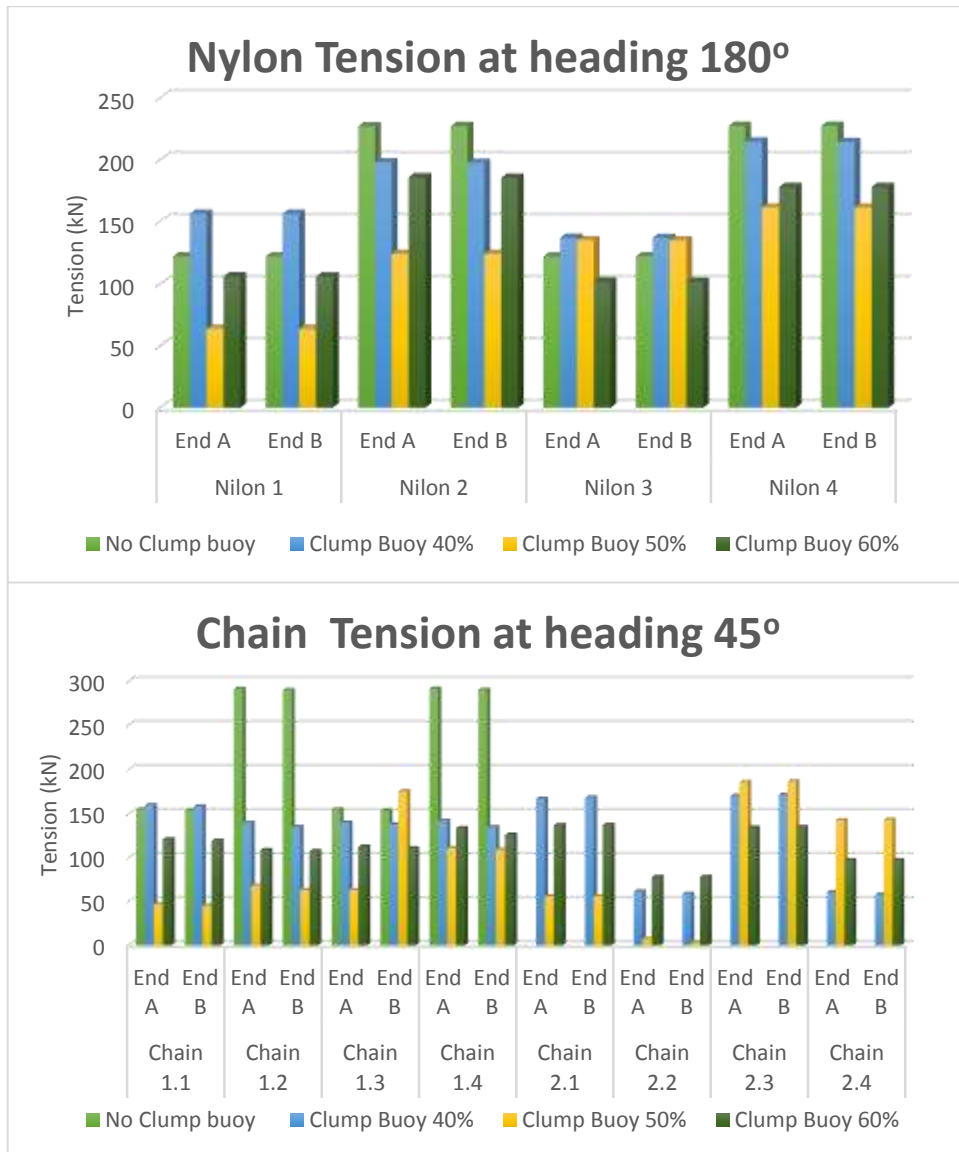
4.4.7 Tension Line Spread Mororing Kondisi 180° Colinier



Gambar 58. Tension Line Spread Mororing Kondisi 180° Colinier

Tabel 19. Tension Line Spread Mororing Kondisi 180° Colinier

Condition		Lines		Tension (kN)				Clashing Report
				No Clump buoy	Clump buoy			
					40%	50%	60%	
Heading 180°	Collinier	Nilon 1	End A	121,96	156,25	63,55	105,8	No Clashing
			End B	121,85	156,2	63,45	105,75	
		Nilon 2	End A	226,88	197,85	123,96	185,65	
			End B	226,97	197,4	123,9	185,34	
		Nilon 3	End A	121,85	136,85	134,9	101,54	
			End B	122,02	136,77	134,87	101,49	
		Nilon 4	End A	227,14	214,42	161,32	177,82	
			End B	227,23	214,12	161,22	177,82	
		Chain 1.1	End A	153,97	158,87	46,48	120,16	
			End B	152,8	157,52	44,67	118,42	
		Chain 1.2	End A	291	138,69	67,46	107,78	
			End B	289,69	134,23	62,62	106,7	
		Chain 1.3	End A	153,97	139,02	62,62	111,73	
			End B	152,79	137	174,58	109,82	
		Chain 1.4	End A	291,14	140,98	110,22	132,86	
			End B	289,83	133,91	108,54	125,34	
		Chain 2.1	End A		166,27	55,34	136,12	
			End B		167,57	55,28	136,59	
		Chain 2.2	End A		60,83	6,92	77,22	
			End B		58,24	2,79	77,28	
		Chain 2.3	End A		169,65	185,12	133,37	
			End B		170,63	185,95	133,97	
		Chain 2.4	End A		59,96	141,99	96,32	
			End B		57,37	142,3	96,27	



Dari kondisi *heading* 180° dapat di lihat karateristik tegangan line pada simulasi selama 3 jam (10800 detik) menggunakan teori *time to domen* didapatkan tension pada tiap mooring line. Dari hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada mooring line no clump pada *chain* dan *nylon*, didapatkan bahwa *tension* maksimum pada rantai adalah sebesar 226,97 kN dan tension maksimum pada nylon untuk menambatkan kapal pada buoy adalah sebesar 291,14 kN. Sedangkan pada mooring arrangement menggunakan clump buoy, pada segmen Nylon, Tension maksimum pada 40% sebesar 214,42 kN, 50% sebesar 158,87 kN, dan 60% sebesar 132,86 kN. Pada segmen Chain 1, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 158,87 kN, 50% sebesar 174,58 kN, dan 60% sebesar

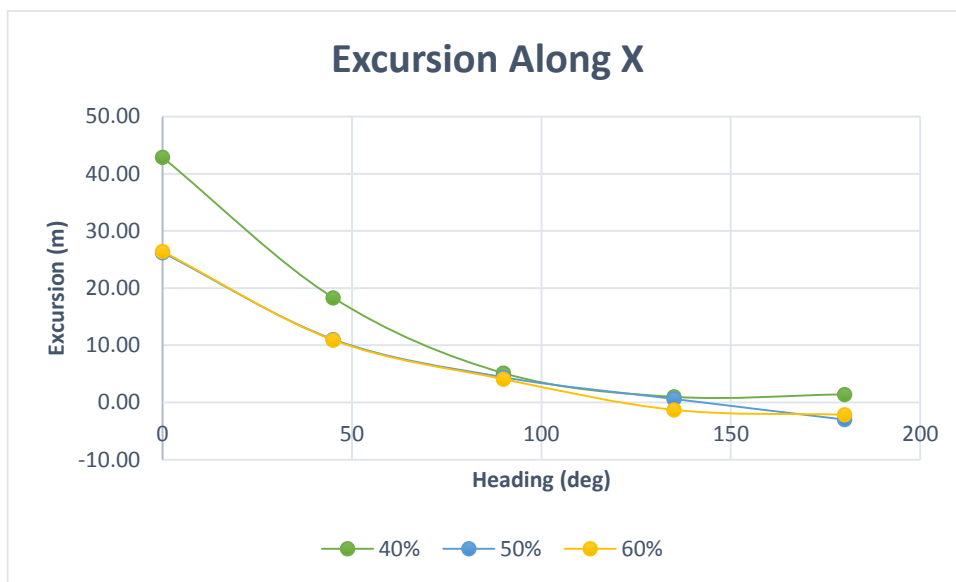
113,76 kN. Pada segmen Chain 2, diperoleh Tension maksimum pada 40% sebesar 170,63 kN, 50% sebesar 185,95 kN, dan 60% sebesar 136,12 kN .

4.7 Analisa Excursion pada Platform PLTAL

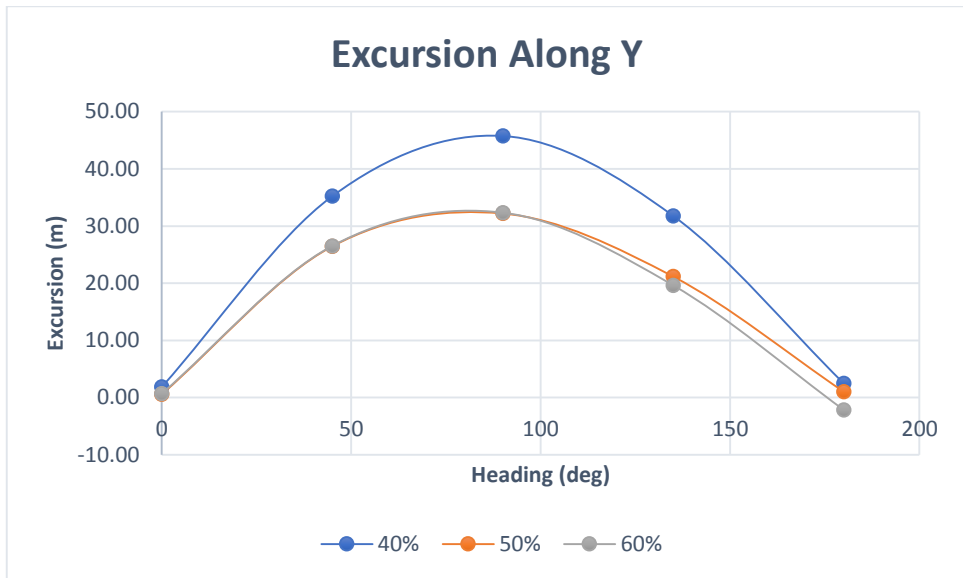
Berdasarkan data time history yang berisi tentang report berdasarkan waktu simulasi selama 10800 detik (3 jam) maka didapatkan persimpangan atau Excursion dari latfom pada arah sumbu x dan sumbu y. dari simulasi tersebut didapatkan nilai maksimum excursion pada platform dari variasi 40%, 50%, dan 60%. Hasil dapat di dilihat pada tabel

Tabel 20. Analisa Excursion pada Platform PLTAL

position	x			y		
	40%	50%	60%	40%	50%	60%
0	42,86	26,22	26,41	1,86	0,58	0,70
45	18,33	11,05	10,93	35,21	26,45	26,53
90	5,13	4,41	4,09	45,76	32,20	32,34
135	0,99	0,62	-1,29	31,78	21,17	19,63
180	1,42	-2,99	-2,14	2,50	1,04	-2,14



Grafik diatas merupakan hasil perbandingan excursion maksimum sepanjang sumbu x pada variasi mooring line 40%, 50%, dan 60% pada saat heading collinier 0, 45, 90, 135, dan 180 dalam simulasi selama 10800 detik (3 jam).dari grafik diatas dapat diketahui nilai excursion terjauh terjadi pada heading 0 pada variasi 40% mooring line. simpangan maksimum sebesar 42,86 m pada sumbu x, dan simpangan minimum dicapai oleh variasi 50% pada saat heading collinear 180 derajat.



Grafik diatas merupakan hasil perbandingan excursion maksimum sepanjang sumbu y pada variasi mooring line 40%, 50%, dan 60% pada saat heading collinier 0, 45, 90, 135, dan 180 dalam simulasi selama 10800 detik (3 jam).dari grafik diatas dapat diketahui nilai excursion terjauh terjadi pada heading 90 pada variasi 40% mooring line. simpangan maksimum sebesar 45,76 m pada sumbu y, dan simpangan minimum dicapai oleh variasi 60% pada saat heading collinear 180

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab IV maka diperoleh beberapa kesimpulan dan juga menjawab permasalahan pada tugas akhir ini. Beberapa kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut :

1. Penambahan clump buoy pada mooring sistem dapat mengurangi tension pada chain dari sambungan mooring line, pada sambungan chain segmen 1 Maximum tension yang didapatkan adalah pada variasi 40% pada heading colliner 135 dengan nilai tension sebesar 172,59 pada END B di segmen chain 1.3. sedangkan tension pada minimum pada segmen chain 1 didapatkan pada variasi 40% saat arah heading 45 pada chain 1.2 yaitu sebesar 28,55. End B.
2. Optimum range penempatan clump buoy terhadap mooring line yaitu antara 50-60 % dari panjang mooring line dikarenakan pada range tersebut diperoleh tension yang lebih kecil.
3. Vessel excursion terjauh Platform PLTAL sepanjang sumbu X terjadi saat Heading 0° pada variasi 40% yaitu sebesar 42,86 m dan Vessel excursion terjauh Platform PLTAL sepanjang sumbu Y terjadi saat Heading 90° pada variasi 40% yaitu sebesar 45,76 m.
4. Dari variasi peletakan clump buoy yaitu 40%, 50%, dan 60 % tidak terjadi adanya Clashing antar mooring line.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisa dengan beban non colinier untuk mengetahui apakah terdapat clashing antar mooring line ketika platform di kenai dengan beban yang berbeda arah.
2. Perlu dilakukan analisa yang lebih teliti mengenai sambungan antar komponen pada mooring system.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ade Lido Tanizar (2015). Analisis perilaku semisubmersible menggunakan konfigurasi spread mooring berbasis time domain. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [2] Cahyo Putro Indro Suseno (2017). Analisa Distribusi Tegangan Sistem Sambungan Pada *Knock Down* River Ferry. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [3] Dian Fiddini Mahanani 2017. Analisa Time-Domin Pengaruh Spread Mooring Dengan Variasi Jumlah Line Terhadap Tension Pada Flexible Riser. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [4] E. P. Popov (1996). Teknik (*MECHANICS OF MATERIAL*).
- [5] Fivid Rivantoro, Irfan Syarif Arief (2015). Studi pemilihan desain pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL) menggunakan metode analytical hierarchy process (AHP) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [6] Halida Rahmi L., Budi Dharmala S., Almas Gediana, Agus Yusup dan Wenty Septria (April 2015). Optimasi pembangkit listrik tenaga arus Laut menggunakan sistem turbin savonius Termodifikasi. Jurnal jurusan teknik fisika, Universitas Jendral Sudirman.
- [7] Hafidz Bagus Prasetyo Adi 20P17. Perancangan sistem mooring dan analisis olah Gerak struktur aquaculture model Seastation untuk laut lepas Indonesia. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [8] *Hao Yu Xiaoyu Li and Shuguang (2012) Yang. Dynamic Analysis Method of Offshore Jack-up Platforms in Regular and Random Waves. College of Shipbuilding Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China 2. Research Center, American Bureau of Shipping, Houston TX 77060, USA.*
- [9] <https://sepenggal.wordpress.com/2010/11/03/elastisitas-bagian-1/> 09.11 WIB
- [10] http://www.wikiwaves.org/Ocean-Wave_Spectra
- [11] Irawati, Mas Murtedjo, dan Yoyok Setyo H (2013). Analisis Tegangan Lokal Konstruksi *Windlass* pada *Bow FSO* Akibat Pengaruh Modifikasi Sistem *Offloading*. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [12] LPPM-ITS 2016. Sistem Platform Pltal Arus Laut. Program studi S1 Teknik Pekapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Isntitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [13] LPPM ITS 2015. Pembuatan Rancangan Desain (Basic Design) PLTAL, Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) Arus Laut. Program studi S1 Teknik Pekapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Isntitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [14] LPPM ITS 2015. Kajian Teknik dan Simulasi Rencana Penerangan Turbin Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) Arus Laut . Program studi S1 Teknik

Pekapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [15] Muhammad Bunari . Studi Perbandingan Perencanaan Kapal Katamaran dan *Monohull* Sebagai Kapal Riset di perairan Bengkalis Riau. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [16] Paul d. Ronney (2014). *Basics of mechanical engineering: integrating science, technology and common sense* department of aerospace and mechanical engineering university of southern california.
- [17] Romadoni Kapal, Vol. 13, No.2 Juni 2016. Analisa Olah Gerak Kapal Di Gelombang Reguler Pada Kapal Tipe Axe Bow : Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Bengkalis.
- [18] Santoso, B. (2013). Diktat Kekuatan Kapal. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [19] Teguh putranto, Aries Sulisetyono (2015). Analisa Numerik Gerakan Dan Kekuatan Kapal Akibat Beban Slamming Pada Kapal Perang Tipe Corvette. KAPAL, Vol. 12, No.3 Oktober 2015
- [20] Wisnu murti dananjaya (2017). Analisa kekuatan kontruksi landing *craft* tank menjadi kapal penumpang dengan metode elemen hingga. Program studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

```

Page 20      Licensee - Bentley Select Licensee      Rev 07.10.01.11
*****
*                                     *** MOSES ***                                     *
*                                     -----                                     *
*                                     September 28, 2017                                     *
*
*      ENERGI LAUT
*
* Draft      = 1.3 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT      = 2.8 Meters
* Roll Gy. Radius = 2.1 Meters      Pitch Gy. Radius = 5.8 Meters      Yaw Gy. Radius = 5.8 Meters
* Heading      = 0.00 Deg.      Forward Speed      = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20
*
*****
+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
*****

Results are in Body System

Of Point On Body HULL At X = 10.0 Y = 0.0 Z = 1.0

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

```

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
0.1000	62.83	0.973	91	0.000	0	1.000	1	0.000	0	0.058	-88	0.000	0
0.2000	31.42	0.971	92	0.000	0	1.000	2	0.000	0	0.233	-87	0.000	0
0.3000	20.94	0.967	95	0.000	0	1.000	5	0.000	0	0.526	-84	0.000	0
0.4000	15.71	0.961	99	0.000	0	0.998	9	0.000	0	0.937	-80	0.000	0
0.5000	12.57	0.950	105	0.000	0	0.994	14	0.000	0	1.466	-75	0.000	0
0.6000	10.47	0.936	111	0.000	0	0.987	21	0.000	0	2.113	-68	0.000	0
0.7000	8.98	0.915	119	0.000	0	0.973	28	0.000	0	2.871	-61	0.000	0
0.8000	7.85	0.886	128	0.000	0	0.952	36	0.000	0	3.728	-53	0.000	0
0.9000	6.98	0.849	138	0.000	0	0.919	45	0.000	0	4.664	-44	0.000	0
1.0000	6.28	0.801	149	0.000	0	0.874	55	0.000	0	5.644	-34	0.000	0
1.1000	5.71	0.742	161	0.000	0	0.811	66	0.000	0	6.614	-24	0.000	0
1.2000	5.24	0.672	175	0.000	0	0.731	77	0.000	0	7.502	-13	0.000	0
1.3000	4.83	0.591	-169	0.000	0	0.630	90	0.001	46	8.211	-1	0.000	0
1.4000	4.49	0.500	-153	0.000	0	0.510	102	0.001	41	8.618	10	0.000	0
1.5000	4.19	0.402	-136	0.000	0	0.373	115	0.001	33	8.589	22	0.000	0
1.6000	3.93	0.300	-118	0.000	0	0.226	129	0.002	23	7.996	34	0.001	169
1.7000	3.70	0.199	-98	0.000	0	0.081	144	0.002	14	6.781	47	0.000	0
1.8000	3.49	0.104	-77	0.000	0	0.045	-35	0.004	6	5.031	60	0.000	0
1.9000	3.31	0.020	-52	0.000	0	0.129	-16	0.005	-4	3.028	75	0.000	0
2.0000	3.14	0.048	145	0.000	0	0.161	0	0.006	-23	1.169	96	0.000	0
2.0944	3.00	0.093	168	0.000	0	0.146	17	0.004	-37	0.230	-111	0.000	0
2.9778	2.11	0.042	-106	0.000	0	0.089	171	0.150	-167	0.690	5	0.004	-43
6.2832	1.00	0.000	0	0.000	0	0.003	142	0.000	0	0.040	49	0.000	0

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.688	90	0.701	90	1.000	0	0.041	90	0.041	-89	0.023	-179
0.2000	31.42	0.687	92	0.700	92	1.000	2	0.164	92	0.165	-87	0.091	-177
0.3000	20.94	0.684	94	0.697	94	1.000	4	0.370	94	0.372	-85	0.204	-175
0.4000	15.71	0.680	97	0.693	97	0.999	7	0.659	97	0.663	-82	0.359	-172
0.5000	12.57	0.675	100	0.688	100	0.997	10	1.032	100	1.038	-79	0.555	-169
0.6000	10.47	0.667	105	0.680	105	0.994	15	1.489	105	1.499	-74	0.786	-164
0.7000	8.98	0.657	110	0.669	110	0.987	20	2.028	110	2.045	-69	1.047	-159
0.8000	7.85	0.643	117	0.656	116	0.977	26	2.646	116	2.674	-64	1.331	-153
0.9000	6.98	0.626	124	0.639	123	0.962	32	3.337	123	3.380	-57	1.627	-146
1.0000	6.28	0.605	132	0.618	131	0.940	40	4.094	131	4.153	-50	1.924	-138
1.1000	5.71	0.578	140	0.592	140	0.909	47	4.904	139	4.978	-43	2.209	-129
1.2000	5.24	0.547	150	0.562	149	0.869	56	5.753	148	5.827	-35	2.467	-119
1.3000	4.83	0.511	160	0.526	159	0.817	65	6.623	158	6.661	-27	2.686	-108
1.4000	4.49	0.469	172	0.486	169	0.751	74	7.496	169	7.419	-18	2.855	-96
1.5000	4.19	0.422	-175	0.440	-179	0.669	83	8.348	179	8.014	-10	2.963	-83
1.6000	3.93	0.370	-162	0.390	-168	0.569	93	9.153	-170	8.330	-2	3.004	-68
1.7000	3.70	0.315	-148	0.331	-158	0.452	102	9.775	-161	8.239	5	2.971	-53
1.8000	3.49	0.258	-134	0.264	-149	0.322	113	10.029	-156	7.653	14	2.863	-37
1.9000	3.31	0.200	-118	0.184	-144	0.193	126	9.411	-156	6.596	24	2.679	-19
2.0000	3.14	0.142	-102	0.093	-136	0.085	152	6.711	-163	5.232	35	2.422	-1
2.0944	3.00	0.091	-85	0.041	-97	0.037	-126	2.420	-162	3.879	50	2.120	16
2.9778	2.11	0.043	-79	0.013	-34	0.080	-92	0.345	-82	1.061	83	0.436	47
6.2832	1.00	0.000	0	0.001	-161	0.000	0	0.006	45	0.024	-86	0.011	-67

▲Page 22 Licensee - Bentley Select Licensee Rev 07.10.01.11

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     September 28, 2017                         *
*
*      ENERGI LAUT
*
*   Draft      = 1.3 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.      GMT      = 2.8 Meters *
*   Roll Gy. Radius = 2.1 Meters  Pitch Gy. Radius = 5.8 Meters  Yaw Gy. Radius = 5.8 Meters *
*   Heading     = 90.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
=====

Results are in Body System

Of Point On Body HULL At X = 10.0 Y = 0.0 Z = 1.0

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified
  
```


E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
0.1000	62.83	0.000	0	0.992	90	1.000	0	0.058	90	0.000	0	0.000	0
0.2000	31.42	0.000	0	0.990	90	1.000	0	0.232	90	0.000	0	0.000	0
0.3000	20.94	0.000	0	0.986	90	1.000	0	0.523	90	0.000	0	0.000	0
0.4000	15.71	0.000	0	0.982	90	1.000	0	0.934	90	0.000	0	0.000	0
0.5000	12.57	0.000	0	0.975	90	1.000	0	1.465	90	0.000	0	0.000	0
0.6000	10.47	0.000	0	0.967	90	1.001	0	2.122	90	0.000	0	0.000	0
0.7000	8.98	0.000	0	0.958	90	1.001	0	2.910	90	0.000	0	0.000	0
0.8000	7.85	0.000	0	0.946	90	1.003	0	3.837	90	0.000	0	0.000	0
0.9000	6.98	0.000	0	0.933	90	1.005	0	4.914	89	0.000	0	0.000	0
1.0000	6.28	0.000	0	0.917	90	1.009	0	6.159	89	0.000	0	0.000	0
1.1000	5.71	0.000	0	0.900	90	1.014	0	7.599	89	0.000	0	0.000	0
1.2000	5.24	0.000	0	0.881	90	1.023	0	9.278	89	0.000	0	0.000	0
1.3000	4.83	0.000	0	0.860	89	1.033	0	11.243	87	0.000	0	0.000	0
1.4000	4.49	0.000	0	0.837	89	1.046	-2	13.587	85	0.000	0	0.000	0
1.5000	4.19	0.000	0	0.812	87	1.058	-4	16.429	82	0.000	0	0.000	0
1.6000	3.93	0.000	0	0.779	85	1.066	-7	19.887	78	0.000	0	0.000	0
1.7000	3.70	0.000	0	0.731	81	1.059	-11	23.942	70	0.000	0	0.000	0
1.8000	3.49	0.000	0	0.651	75	1.026	-16	28.144	59	0.000	0	0.000	0
1.9000	3.31	0.000	0	0.525	67	0.956	-23	31.366	45	0.000	0	0.000	0
2.0000	3.14	0.000	0	0.359	60	0.852	-28	32.324	29	0.000	0	0.000	0
2.0944	3.00	0.000	0	0.199	62	0.735	-33	30.603	13	0.000	0	0.000	0
2.9778	2.11	0.000	0	0.161	-164	0.147	-10	4.868	12	0.000	0	0.000	0
6.2832	1.00	0.000	0	0.012	31	0.002	174	0.098	-139	0.000	0	0.000	0

Page 23 Licensee - Bentley Select Licensee Rev 07.10.01.11

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     September 28, 2017                       *
*                                     *
*      ENERGI LAUT
*
*   Draft      = 1.3 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.      GMT      = 2.8 Meters *
*   Roll Gy. Radius = 2.1 Meters  Pitch Gy. Radius = 5.8 Meters  Yaw Gy. Radius = 5.8 Meters *
*   Heading     = 135.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots    Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body HULL At X = 10.0 Y = 0.0 Z = 1.0

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase
0.1000	62.83	0.688	-90	0.701	90	1.000	0	0.041	90	0.041	90	0.023	0
0.2000	31.42	0.687	-91	0.700	88	1.000	-1	0.164	88	0.165	88	0.091	-1
0.3000	20.94	0.684	-93	0.697	86	1.000	-3	0.370	86	0.372	86	0.204	-3
0.4000	15.71	0.680	-96	0.693	83	0.999	-6	0.659	83	0.663	83	0.359	-6
0.5000	12.57	0.675	-99	0.688	80	0.997	-9	1.032	80	1.038	80	0.555	-9
0.6000	10.47	0.667	-104	0.680	75	0.994	-14	1.489	75	1.499	75	0.786	-14
0.7000	8.98	0.657	-109	0.669	70	0.987	-20	2.028	70	2.045	69	1.047	-19
0.8000	7.85	0.643	-116	0.656	64	0.977	-26	2.646	63	2.674	63	1.331	-26
0.9000	6.98	0.626	-123	0.639	57	0.962	-34	3.337	56	3.380	55	1.627	-33
1.0000	6.28	0.605	-131	0.618	49	0.940	-42	4.094	48	4.153	46	1.924	-40
1.1000	5.71	0.578	-139	0.592	40	0.909	-51	4.904	39	4.978	36	2.209	-49
1.2000	5.24	0.547	-149	0.562	30	0.869	-62	5.753	30	5.828	25	2.467	-58
1.3000	4.83	0.511	-159	0.526	19	0.817	-74	6.623	19	6.662	13	2.686	-67
1.4000	4.49	0.469	-171	0.485	8	0.751	-87	7.485	6	7.421	0	2.855	-78
1.5000	4.19	0.422	176	0.439	-5	0.669	-101	8.316	-7	8.017	-16	2.963	-88
1.6000	3.93	0.370	164	0.388	-19	0.569	-118	9.088	-22	8.334	-33	3.004	-100
1.7000	3.70	0.315	150	0.330	-37	0.452	-135	9.713	-41	8.244	-52	2.971	-112
1.8000	3.49	0.258	135	0.264	-57	0.322	-154	10.029	-64	7.658	-73	2.863	-124
1.9000	3.31	0.200	120	0.184	-82	0.193	-171	9.434	-94	6.601	-93	2.679	-137
2.0000	3.14	0.142	104	0.095	-109	0.085	-177	7.050	-133	5.236	-114	2.422	-151
2.0944	3.00	0.091	88	0.041	-99	0.037	-128	2.442	-164	3.882	-132	2.120	-165
2.9778	2.11	0.043	80	0.013	-46	0.080	-104	0.345	-94	1.062	-108	0.436	-144
6.2832	1.00	0.000	0	0.001	178	0.000	0	0.006	25	0.024	74	0.011	93

Page 24 Licensee - Bentley Select Licensee Rev 07.10.01.11

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     September 28, 2017                             *
*                                     *
*                                     ENERGI LAUT                                     *
*                                     *
* Draft          = 1.3 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT          = 2.8 Meters *
* Roll Gy. Radius = 2.1 Meters      Pitch Gy. Radius = 5.8 Meters    Yaw Gy. Radius = 5.8 Meters *
* Heading        = 180.00 Deg.      Forward Speed  = 0.00 Knots     Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System
 Of Point On Body HULL At X = 10.0 Y = 0.0 Z = 1.0
 Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.973	-90	0.000	0	1.000	0	0.000	0	0.058	89	0.000	0
0.2000	31.42	0.971	-91	0.000	0	1.000	-1	0.000	0	0.233	88	0.000	0
0.3000	20.94	0.967	-94	0.000	0	1.000	-4	0.000	0	0.526	85	0.000	0
0.4000	15.71	0.961	-98	0.000	0	0.998	-8	0.000	0	0.937	81	0.000	0
0.5000	12.57	0.950	-104	0.000	0	0.994	-14	0.000	0	1.466	75	0.000	0
0.6000	10.47	0.936	-110	0.000	0	0.987	-20	0.000	0	2.113	68	0.000	0
0.7000	8.98	0.915	-118	0.000	0	0.973	-28	0.000	0	2.871	60	0.000	0
0.8000	7.85	0.886	-127	0.000	0	0.952	-38	0.000	0	3.729	51	0.000	0
0.9000	6.98	0.849	-137	0.000	0	0.919	-48	0.000	0	4.665	40	0.000	0
1.0000	6.28	0.801	-148	0.000	0	0.874	-61	0.000	0	5.644	28	0.000	0
1.1000	5.71	0.742	-160	0.000	0	0.811	-74	0.000	0	6.615	14	0.000	0
1.2000	5.24	0.672	-174	0.000	0	0.731	-90	0.000	0	7.504	-1	0.000	0
1.3000	4.83	0.591	170	0.000	0	0.630	-107	0.001	-151	8.213	-18	0.000	0
1.4000	4.49	0.500	155	0.000	0	0.510	-126	0.001	172	8.621	-38	0.000	0
1.5000	4.19	0.402	138	0.000	0	0.373	-146	0.001	130	8.593	-60	0.000	0
1.6000	3.93	0.300	119	0.000	0	0.226	-169	0.002	84	8.000	-84	0.001	50
1.7000	3.70	0.199	100	0.000	0	0.081	167	0.002	36	6.785	-110	0.000	0
1.8000	3.49	0.104	80	0.000	0	0.045	-53	0.004	-12	5.034	-137	0.000	0
1.9000	3.31	0.020	59	0.000	0	0.129	-77	0.005	-66	3.029	-165	0.000	0
2.0000	3.14	0.048	-145	0.000	0	0.161	-107	0.006	-131	1.167	169	0.000	0
2.0944	3.00	0.093	-167	0.000	0	0.146	-134	0.004	170	0.232	-83	0.000	0
2.9778	2.11	0.042	108	0.000	0	0.089	-144	0.150	-122	0.693	-129	0.004	-179
6.2832	1.00	0.000	0	0.000	0	0.003	-146	0.000	0	0.040	-60	0.000	0

Page	10	Licensee - Bently Select Licensee	Rev 07.10.01.11
		*** MOSES ***	
ENERGI LAUT			September 28, 2017

+++ MEAN D R I F T F O R C E S F O R H U L L +++

Drift Name = HULL Heading = 0.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2

Reported in the Body System

E N C O U N T E R		T R A N S L A T I O N			R O T A T I O N		
-----		/-----/			/-----/		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	-0.0	0.0	7.8	-0.0	-77.7	0.0
0.2000	31.416	-0.1	0.0	5.6	-0.0	-56.3	0.0
0.3000	20.944	-0.3	0.0	2.3	-0.0	-23.1	0.0
0.4000	15.708	-0.8	0.0	-2.1	-0.0	20.8	0.0
0.5000	12.566	-1.8	0.0	-7.4	-0.0	73.8	0.0
0.6000	10.472	-3.2	0.0	-13.6	-0.0	134.8	0.1
0.7000	8.976	-5.3	0.0	-20.3	-0.0	202.0	0.1
0.8000	7.854	-8.1	0.0	-27.6	-0.0	273.9	0.1
0.9000	6.981	-11.5	0.0	-35.1	-0.0	348.8	0.1
1.0000	6.283	-15.5	0.0	-42.9	-0.0	425.0	0.2
1.1000	5.712	-19.9	0.0	-50.6	-0.0	500.9	0.2
1.2000	5.236	-24.6	0.0	-58.1	-0.0	574.8	0.2
1.3000	4.833	-29.4	0.0	-65.3	-0.0	645.3	0.3
1.4000	4.488	-34.2	0.0	-72.0	-0.0	711.2	0.3
1.5000	4.189	-38.8	0.0	-78.2	-0.0	771.3	0.3
1.6000	3.927	-43.0	0.0	-83.7	-0.0	824.8	0.3
1.7000	3.696	-46.6	0.0	-88.5	-0.0	871.0	0.3
1.8000	3.491	-49.7	0.0	-92.5	-0.0	909.4	0.3
1.9000	3.307	-52.0	0.0	-95.7	-0.1	939.9	0.4
2.0000	3.142	-53.6	0.0	-98.1	-0.1	962.3	0.4
2.0944	3.000	-54.5	0.0	-99.6	-0.1	976.3	0.4
2.9778	2.110	-33.7	-4.2	-76.7	5.6	750.3	-40.9
6.2832	1.000	-8.8	0.0	-16.6	-0.0	156.1	0.1

Page	11	Licensee - Bentley Select Licensee	Rev 07.10.01.11
*		*** MOSES ***	*
*		-----	*
*		ENERGI LAUT	September 28, 2017
*			*
*			*

+++ MEAN D R I F T F O R C E S F O R H U L L +++

Drift Name = HULL Heading = 45.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2

Reported in the Body System

E N C O U N T E R		T R A N S L A T I O N			R O T A T I O N		
-----/		/-----/			/-----/		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	-0.0	-0.0	7.8	0.0	-77.7	-0.3
0.2000	31.416	-0.0	-0.1	5.6	0.1	-56.3	-1.5
0.3000	20.944	-0.1	-0.3	2.3	0.4	-23.0	-5.0
0.4000	15.708	-0.4	-0.9	-2.1	1.2	20.9	-12.6
0.5000	12.566	-0.9	-2.1	-7.4	2.8	74.0	-26.6
0.6000	10.472	-1.7	-4.1	-13.5	5.6	134.9	-49.7
0.7000	8.976	-2.8	-7.4	-20.3	10.0	201.9	-84.8
0.8000	7.854	-4.4	-12.1	-27.4	16.3	273.4	-134.8
0.9000	6.981	-6.3	-18.5	-34.9	25.0	347.5	-202.0
1.0000	6.283	-8.7	-26.7	-42.5	36.1	422.5	-287.4
1.1000	5.712	-11.5	-36.7	-50.0	49.5	496.9	-389.9
1.2000	5.236	-14.6	-48.0	-57.3	64.8	569.0	-506.0
1.3000	4.833	-17.9	-60.1	-64.3	81.2	637.6	-630.5
1.4000	4.488	-21.4	-72.5	-70.9	98.0	701.7	-757.5
1.5000	4.189	-24.9	-84.6	-76.9	114.4	760.2	-881.5
1.6000	3.927	-28.3	-95.9	-82.3	129.8	812.6	-998.7
1.7000	3.696	-31.5	-106.4	-87.0	144.0	858.2	-1106.7
1.8000	3.491	-34.4	-115.9	-91.1	156.9	896.4	-1204.3
1.9000	3.307	-36.9	-124.2	-94.3	168.2	927.2	-1290.8
2.0000	3.142	-39.0	-131.5	-96.8	178.1	950.4	-1366.1
2.0944	3.000	-40.6	-137.3	-98.5	186.1	965.5	-1426.7
2.9778	2.110	-23.5	-46.2	-88.3	65.2	867.4	-585.0
6.2832	1.000	-19.0	-122.4	-15.7	166.9	136.5	-1304.6

E N C O U N T E R		T R A N S L A T I O N			R O T A T I O N		
-----		/-----/			/-----/		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	-0.0	-0.0	7.8	0.0	-77.7	-0.1
0.2000	31.416	-0.0	-0.1	5.6	0.1	-56.3	-0.9
0.3000	20.944	-0.0	-0.4	2.3	0.6	-23.0	-4.2
0.4000	15.708	-0.0	-1.3	-2.1	1.7	20.9	-12.8
0.5000	12.566	-0.0	-3.0	-7.4	4.0	74.1	-29.9
0.6000	10.472	-0.0	-6.0	-13.5	8.1	135.0	-59.7
0.7000	8.976	0.0	-10.7	-20.2	14.4	201.9	-106.6
0.8000	7.854	-0.0	-17.5	-27.3	23.6	273.1	-174.9
0.9000	6.981	-0.0	-26.8	-34.7	36.2	346.8	-268.1
1.0000	6.283	-0.0	-38.7	-42.1	52.3	421.2	-386.9
1.1000	5.712	0.0	-52.9	-49.5	71.4	494.8	-528.5
1.2000	5.236	-0.0	-68.6	-56.6	92.8	566.3	-686.3
1.3000	4.833	0.0	-85.1	-63.5	115.0	634.6	-850.6
1.4000	4.488	-0.0	-101.1	-69.9	136.7	698.9	-1011.1
1.5000	4.189	-0.0	-115.9	-75.8	156.8	758.5	-1159.4
1.6000	3.927	-0.0	-129.0	-81.2	174.6	812.4	-1290.3
1.7000	3.696	-0.0	-140.2	-86.0	189.8	860.1	-1401.9
1.8000	3.491	-0.0	-149.5	-90.1	202.4	901.0	-1494.7
1.9000	3.307	-0.0	-157.1	-93.4	212.8	934.4	-1570.7
2.0000	3.142	-0.0	-163.3	-96.0	221.3	960.1	-1632.5
2.0944	3.000	-0.0	-168.0	-97.7	227.8	977.3	-1680.2
2.9778	2.110	-0.0	-161.3	-86.2	219.6	861.7	-1612.5
6.2832	1.000	-0.0	-179.2	-11.4	243.9	113.6	-1791.8

```

Page 13      Licensee - Bentley Select Licensee      Rev 07.10.01.11
*****
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               September 28, 2017                               *
*                               -----                               *
*                               ENERGI LAUT                               *
*****

      +++ M E A N   D R I F T   F O R C E S   F O R   H U L L +++
      -----

      Drift Name = HULL      Heading = 135.00   Computed

      Force Factor = 1.0000   Radiation Factor = 1.0000   Coriolis Factor = 1.00

      Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

      Mean Drift Force ( With No Force Factor ) / (Wave Amplitude)**2

      Reported in the Body System

```

E N C O U N T E R		T R A N S L A T I O N			R O T A T I O N		
-----/		/-----/			/-----/		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	0.0	-0.0	7.8	0.0	-77.7	0.2
0.2000	31.416	0.0	-0.1	5.6	0.1	-56.3	0.3
0.3000	20.944	0.1	-0.3	2.3	0.4	-23.0	-0.9
0.4000	15.708	0.4	-0.9	-2.1	1.2	21.0	-5.2
0.5000	12.566	0.9	-2.1	-7.4	2.8	74.4	-15.1
0.6000	10.472	1.7	-4.1	-13.5	5.6	135.6	-33.3
0.7000	8.976	2.8	-7.4	-20.3	10.0	203.2	-62.8
0.8000	7.854	4.4	-12.1	-27.4	16.3	275.5	-106.9
0.9000	6.981	6.3	-18.5	-34.9	25.0	350.8	-168.0
1.0000	6.283	8.7	-26.7	-42.5	36.1	427.3	-247.2
1.1000	5.712	11.5	-36.7	-50.0	49.5	503.4	-343.4
1.2000	5.236	14.6	-48.0	-57.3	64.8	577.7	-453.3
1.3000	4.833	17.9	-60.1	-64.3	81.2	649.0	-571.5
1.4000	4.488	21.4	-72.5	-70.9	98.0	716.0	-692.1
1.5000	4.189	24.9	-84.6	-76.9	114.4	777.8	-809.6
1.6000	3.927	28.3	-95.9	-82.3	129.8	833.7	-920.2
1.7000	3.696	31.5	-106.4	-87.0	144.0	882.8	-1021.7
1.8000	3.491	34.4	-115.9	-91.1	156.9	924.7	-1112.9
1.9000	3.307	36.9	-124.2	-94.3	168.2	959.0	-1193.5
2.0000	3.142	39.0	-131.5	-96.8	178.1	985.7	-1263.2
2.0944	3.000	40.6	-137.3	-98.5	186.1	1003.9	-1319.2
2.9778	2.110	23.5	-46.2	-88.3	65.2	899.1	-338.7
6.2832	1.000	18.9	-122.4	-15.7	166.9	176.5	-1142.6

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                               *
*                                     September 28, 2017                       *
*                                     *                                           *
* ENERGI LAUT *                                                                *
*                                     *                                           *
*****

```

+++ M E A N D R I F T F O R C E S F O R H U L L +++

.....

Drift Name = HULL Heading = 180.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

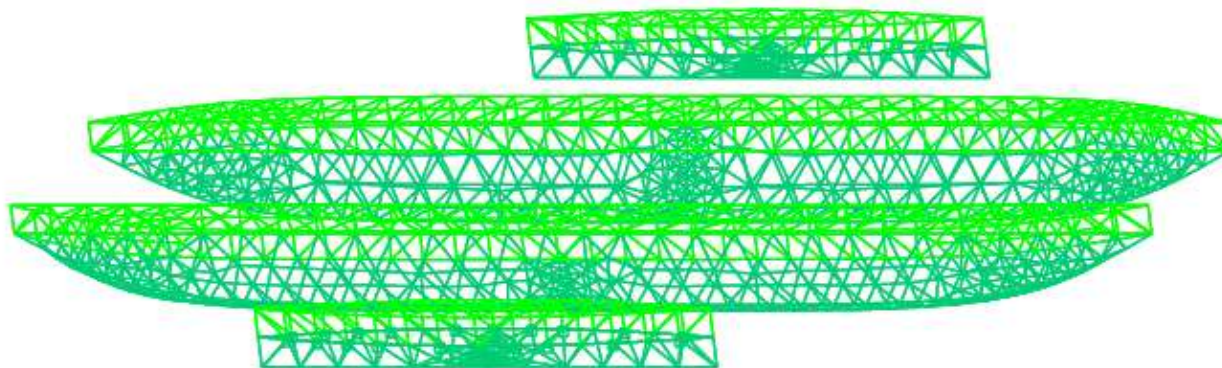
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

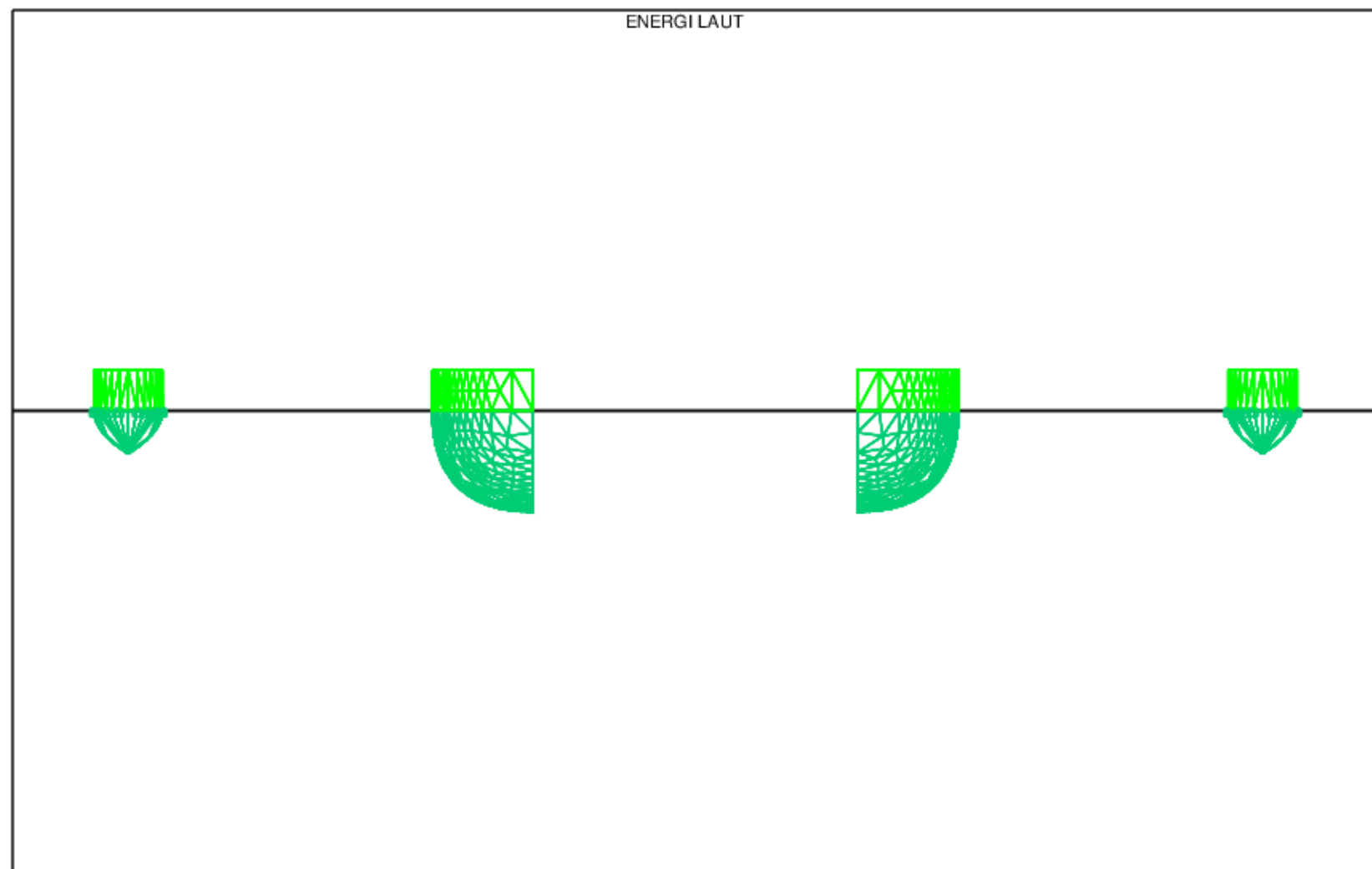
Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2

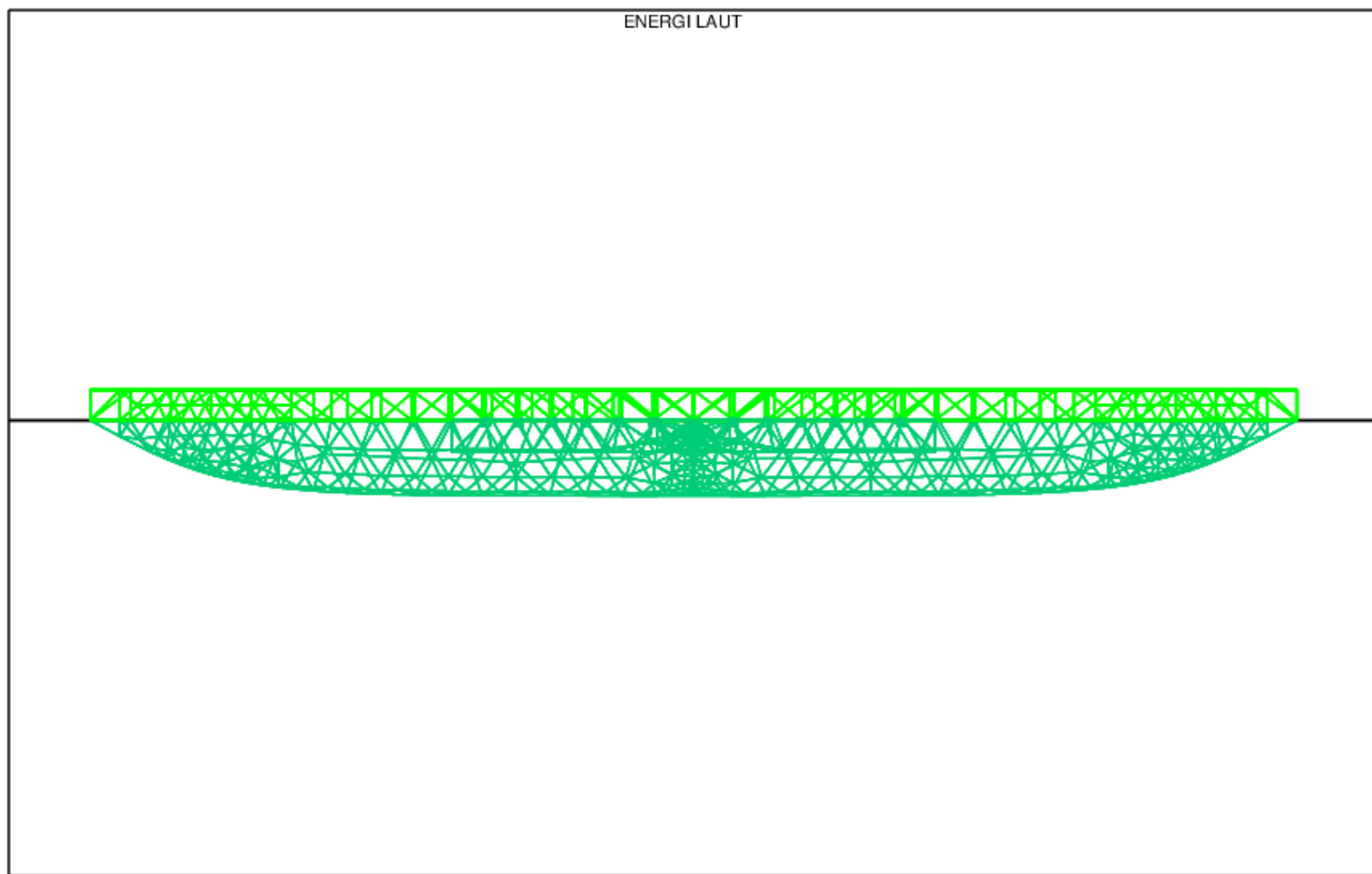
Reported in the Body System

E N C O U N T E R		T R A N S L A T I O N			R O T A T I O N		
-----		/-----/			/-----/		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	0.0	0.0	7.8	-0.0	-77.7	0.0
0.2000	31.416	0.0	0.0	5.6	-0.0	-56.3	0.0
0.3000	20.944	0.2	0.0	2.3	-0.0	-23.0	0.0
0.4000	15.708	0.7	0.0	-2.1	-0.0	21.1	0.0
0.5000	12.566	1.7	0.0	-7.4	-0.0	74.6	0.0
0.6000	10.472	3.2	0.0	-13.6	-0.0	136.2	0.1
0.7000	8.976	5.3	0.0	-20.3	-0.0	204.4	0.1
0.8000	7.854	8.1	0.0	-27.6	-0.0	277.6	0.1
0.9000	6.981	11.5	0.0	-35.1	-0.0	354.2	0.1
1.0000	6.283	15.5	0.0	-42.9	-0.0	432.4	0.2
1.1000	5.712	19.9	0.0	-50.6	-0.0	510.6	0.2
1.2000	5.236	24.6	0.0	-58.1	-0.0	587.2	0.2
1.3000	4.833	29.4	0.0	-65.3	-0.0	660.6	0.3
1.4000	4.488	34.2	0.0	-72.0	-0.0	729.6	0.3
1.5000	4.189	38.8	0.0	-78.2	-0.0	793.0	0.3
1.6000	3.927	43.0	0.0	-83.7	-0.0	849.8	0.3
1.7000	3.696	46.6	0.0	-88.5	-0.0	899.2	0.3
1.8000	3.491	49.7	0.0	-92.5	-0.0	940.8	0.4
1.9000	3.307	52.0	0.0	-95.7	-0.1	974.3	0.4
2.0000	3.142	53.6	0.0	-98.1	-0.1	999.5	0.4
2.0944	3.000	54.5	0.0	-99.6	-0.1	1015.9	0.5
2.9778	2.110	33.7	-4.2	-76.7	5.6	783.2	-43.2
6.2832	1.000	8.7	0.0	-16.6	-0.0	174.8	0.2

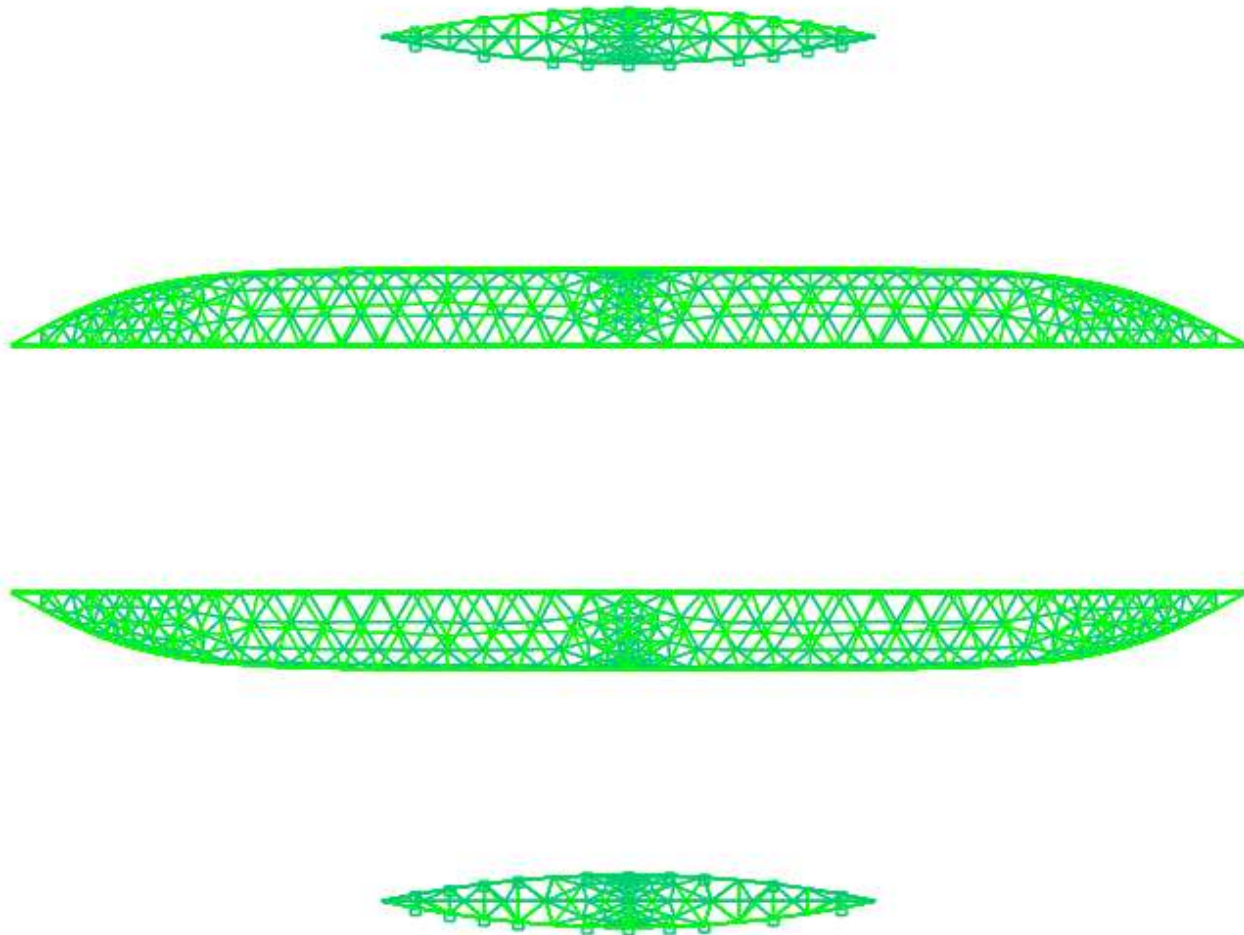
ENERGI LAUT







ENERGI LAUT



Frequency 0.1000 Period 62.8319

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.49733E-01 -1.18542E-03 -9.58389E-01 1.07741E-07 -2.14459E-07
 0.00000E+00 -3.62028E-04 1.07727E+01 -1.10877E-02 8.38795E-05 6.67503E-07
 0.00000E+00 -9.58389E-01 -1.10877E-02 3.71254E+00 -8.15992E-03 1.45046E-05
 -2.65077E-02 1.07741E-07 8.38795E-05 -1.14934E-01 3.03060E+02 -7.53722E-02
 1.93111E-10 -2.14459E-07 6.67503E-07 -1.67384E-01 1.00069E-01 1.00578E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 1.64055E-06 -6.44079E-05 -4.13649E-06 4.31955E-09 2.18680E-09
 0.00000E+00 2.31095E-07 5.85667E-01 -6.02866E-04 4.34151E-06 3.33045E-08
 0.00000E+00 -4.13649E-06 -6.02866E-04 9.33334E-06 -6.40575E-04 2.15928E-09
 0.00000E+00 4.31955E-09 4.34151E-06 -5.38028E-03 1.61989E+01 -6.46784E-03
 0.00000E+00 2.18680E-09 3.33045E-08 5.45773E-06 7.41928E-03 2.02563E-05

Frequency 0.2000 Period 31.4159

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.53835E-01 -8.90231E-04 -9.67415E-01 4.94745E-08 6.85191E-06
 0.00000E+00 -3.58082E-04 8.01219E+00 -8.21949E-03 2.41251E-05 -7.33865E-08
 0.00000E+00 -9.67415E-01 -8.21949E-03 3.73345E+00 -5.27346E-03 1.69668E-05
 -2.65077E-02 4.94745E-08 2.41251E-05 -8.89659E-02 2.26893E+02 -4.63339E-02
 1.93111E-10 6.85191E-06 -7.33865E-08 -1.69628E-01 6.65689E-02 1.01434E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 4.99989E-05 -1.23305E-04 -1.25313E-04 -1.17787E-08 2.79905E-09
 0.00000E+00 1.74069E-06 1.11146E+00 -1.13912E-03 3.89767E-06 -3.30097E-09
 0.00000E+00 -1.25313E-04 -1.13912E-03 3.23083E-04 -1.23921E-03 2.20682E-09
 0.00000E+00 -1.17787E-08 3.89767E-06 -1.00934E-02 3.08297E+01 -1.25368E-02
 0.00000E+00 2.79905E-09 -3.30097E-09 -1.87887E-05 1.43359E-02 1.00232E-03

Frequency 0.3000 Period 20.9440

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.61118E-01 -7.24509E-04 -9.83458E-01 1.65576E-07 1.37257E-05
 0.00000E+00 -3.55509E-04 6.41268E+00 -6.54608E-03 8.93657E-05 -2.13338E-07
 0.00000E+00 -9.83458E-01 -6.54608E-03 3.77053E+00 -3.65677E-03 3.00366E-05
 -2.65077E-02 1.65576E-07 8.93657E-05 -7.36923E-02 1.82669E+02 -3.00808E-02
 1.93111E-10 1.37257E-05 -2.13338E-07 -1.72529E-01 4.77909E-02 1.02954E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 3.79562E-04 -1.75861E-04 -9.44273E-04 -4.19179E-08 8.78611E-09
 0.00000E+00 5.40108E-06 1.55950E+00 -1.58704E-03 4.52866E-06 -5.42145E-08
 0.00000E+00 -9.44273E-04 -1.58704E-03 2.42576E-03 -1.79635E-03 -1.18473E-08
 0.00000E+00 -4.19179E-08 4.52866E-06 -1.38913E-02 4.34093E+01 -1.82269E-02
 0.00000E+00 8.78611E-09 -5.42145E-08 -1.77653E-04 2.07413E-02 7.60800E-03

Frequency 0.4000 Period 15.7080

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.71852E-01 -6.15859E-04 -1.00706E+00 -7.84037E-08 1.21571E-05
 0.00000E+00 -3.55484E-04 5.32425E+00 -5.39973E-03 -1.27041E-05 -1.02098E-07
 0.00000E+00 -1.00706E+00 -5.39973E-03 3.82490E+00 -2.58048E-03 4.62133E-05

-2.65077E-02 -7.84037E-08 -1.27041E-05 -6.32058E-02 1.52464E+02 -1.92334E-02
1.93111E-10 1.21571E-05 -1.02098E-07 -1.76806E-01 3.53137E-02 1.05192E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 1.59139E-03 -2.23151E-04 -3.93691E-03 6.38728E-08 5.87252E-08
0.00000E+00 1.15887E-05 1.92919E+00 -1.94343E-03 -8.16160E-06 -6.25629E-08
0.00000E+00 -3.93691E-03 -1.94343E-03 1.00600E-02 -2.32620E-03 9.49739E-08
0.00000E+00 6.38728E-08 -8.16160E-06 -1.67141E-02 5.39067E+01 -2.36912E-02
0.00000E+00 5.87252E-08 -6.25629E-08 -7.53428E-04 2.67939E-02 3.18851E-02

Frequency 0.5000 Period 12.5664

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
0.00000E+00 4.86060E-01 -5.39912E-04 -1.03803E+00 1.79913E-08 1.44061E-05
0.00000E+00 -3.58463E-04 4.53263E+00 -4.56137E-03 8.81819E-06 2.90289E-07
0.00000E+00 -1.03803E+00 -4.56137E-03 3.89558E+00 -1.79818E-03 5.72248E-05
-2.65077E-02 1.79913E-08 8.81819E-06 -5.55713E-02 1.30401E+02 -1.13046E-02
1.93111E-10 1.44061E-05 2.90289E-07 -1.82310E-01 2.62844E-02 1.08158E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 4.81922E-03 -2.67072E-04 -1.18407E-02 -8.18359E-08 3.99029E-08
0.00000E+00 2.01224E-05 2.22678E+00 -2.21235E-03 -3.93225E-05 1.51028E-07
0.00000E+00 -1.18407E-02 -2.21235E-03 3.00457E-02 -2.84615E-03 1.08999E-07
0.00000E+00 -8.18359E-08 -3.93225E-05 -1.85866E-02 6.24746E+01 -2.90952E-02
0.00000E+00 3.99029E-08 1.51028E-07 -2.24515E-03 3.26954E-02 9.65366E-02

Frequency 0.6000 Period 10.4720

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
0.00000E+00 5.03314E-01 -4.84376E-04 -1.07506E+00 5.27971E-08 4.23977E-06
0.00000E+00 -3.64529E-04 3.93540E+00 -3.92694E-03 8.69318E-06 -2.94366E-08
0.00000E+00 -1.07506E+00 -3.92694E-03 3.97862E+00 -1.18751E-03 2.55446E-05
-2.65077E-02 5.27971E-08 8.69318E-06 -4.98744E-02 1.13673E+02 -5.05991E-03
1.93111E-10 4.23977E-06 -2.94366E-08 -1.88842E-01 1.92941E-02 1.11773E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 1.18520E-02 -3.09720E-04 -2.88783E-02 -1.28005E-07 2.08263E-08
0.00000E+00 3.03643E-05 2.46062E+00 -2.39993E-03 1.43289E-05 -3.28700E-08
0.00000E+00 -2.88783E-02 -2.39993E-03 7.26651E-02 -3.37035E-03 -2.29266E-07
0.00000E+00 -1.28005E-07 1.43289E-05 -1.95720E-02 6.93285E+01 -3.45831E-02
0.00000E+00 2.08263E-08 -3.28700E-08 -5.43291E-03 3.86188E-02 2.37387E-01

Frequency 0.7000 Period 8.9760

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
0.00000E+00 5.22533E-01 -4.41801E-04 -1.11523E+00 1.25143E-07 3.23370E-06
0.00000E+00 -3.73382E-04 3.47411E+00 -3.43876E-03 -5.78682E-06 -4.87173E-08
0.00000E+00 -1.11523E+00 -3.43876E-03 4.06614E+00 -6.77831E-04 2.64948E-05
-2.65077E-02 1.25143E-07 -5.78682E-06 -4.55954E-02 1.00685E+02 2.13566E-04
1.93111E-10 3.23370E-06 -4.87173E-08 -1.95814E-01 1.35148E-02 1.15832E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 2.51517E-02 -3.53262E-04 -6.06903E-02 1.59998E-08 1.44628E-07
0.00000E+00 4.11151E-05 2.63896E+00 -2.51264E-03 -2.16771E-06 -5.59454E-08
0.00000E+00 -6.06903E-02 -2.51264E-03 1.51226E-01 -3.90825E-03 -1.56512E-06

0.00000E+00 1.59998E-08 -2.16771E-06 -1.97544E-02 7.46831E+01 -4.02259E-02
 0.00000E+00 1.44628E-07 -5.59454E-08 -1.13228E-02 4.46897E-02 5.03888E-01

Frequency 0.8000 Period 7.8540

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.41824E-01 -4.06801E-04 -1.15379E+00 -5.79327E-09 7.78156E-06
 0.00000E+00 -3.84193E-04 3.11202E+00 -3.06158E-03 7.95928E-06 8.53822E-08
 0.00000E+00 -1.15379E+00 -3.06158E-03 4.14593E+00 -2.23828E-04 2.71611E-05
 -2.65077E-02 -5.79327E-09 7.95928E-06 -4.24030E-02 9.04300E+01 4.96137E-03
 1.93111E-10 7.78156E-06 8.53822E-08 -2.02302E-01 8.41532E-03 1.19973E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 4.76640E-02 -3.99413E-04 -1.13747E-01 9.67321E-08 -8.50398E-07
 0.00000E+00 5.06617E-05 2.76918E+00 -2.55669E-03 3.48619E-05 1.65085E-07
 0.00000E+00 -1.13747E-01 -2.55669E-03 2.80306E-01 -4.46016E-03 -1.15227E-06
 0.00000E+00 9.67321E-08 3.48619E-05 -1.92372E-02 7.87368E+01 -4.59939E-02
 0.00000E+00 -8.50398E-07 1.65085E-07 -2.10206E-02 5.09355E-02 9.55808E-01

Frequency 0.9000 Period 6.9813

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.58460E-01 -3.75259E-04 -1.18419E+00 9.06713E-08 1.63380E-05
 0.00000E+00 -3.95577E-04 2.82458E+00 -2.77280E-03 4.64650E-05 -3.16319E-08
 0.00000E+00 -1.18419E+00 -2.77280E-03 4.20211E+00 2.01598E-04 4.67867E-05
 -2.65077E-02 9.06713E-08 4.64650E-05 -4.00612E-02 8.22362E+01 9.42931E-03
 1.93111E-10 1.63380E-05 -3.16319E-08 -2.07128E-01 3.66188E-03 1.23669E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 8.23052E-02 -4.49073E-04 -1.94015E-01 1.17115E-07 9.55059E-07
 0.00000E+00 5.70469E-05 2.85758E+00 -2.53886E-03 3.74407E-05 -2.95452E-08
 0.00000E+00 -1.94015E-01 -2.53886E-03 4.72274E-01 -5.01554E-03 -2.88369E-07
 0.00000E+00 1.17115E-07 3.74407E-05 -1.81449E-02 8.16575E+01 -5.17570E-02
 0.00000E+00 9.55059E-07 -2.95452E-08 -3.54944E-02 5.72672E-02 1.65380E+00

Frequency 1.0000 Period 6.2832

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.69161E-01 -3.44330E-04 -1.19901E+00 4.46035E-08 1.57046E-05
 0.00000E+00 -4.05568E-04 2.59477E+00 -2.55686E-03 1.71932E-05 6.10376E-09
 0.00000E+00 -1.19901E+00 -2.55686E-03 4.21751E+00 6.06759E-04 3.65703E-05
 -2.65077E-02 4.46035E-08 1.71932E-05 -3.83714E-02 7.56333E+01 1.36760E-02
 1.93111E-10 1.57046E-05 6.10376E-09 -2.09092E-01 -8.75278E-04 1.26280E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 1.31098E-01 -5.02070E-04 -3.04900E-01 1.18795E-07 -1.67041E-06
 0.00000E+00 5.83537E-05 2.90944E+00 -2.46770E-03 8.00942E-06 3.31407E-08
 0.00000E+00 -3.04900E-01 -2.46770E-03 7.32349E-01 -5.55366E-03 4.11192E-06
 0.00000E+00 1.18795E-07 8.00942E-06 -1.66246E-02 8.35887E+01 -5.72669E-02
 0.00000E+00 -1.67041E-06 3.31407E-08 -5.52168E-02 6.34727E-02 2.64362E+00

Frequency 1.1000 Period 5.7120

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.70761E-01 -3.12328E-04 -1.19156E+00 -4.63416E-08 1.06974E-05
 0.00000E+00 -4.11892E-04 2.41044E+00 -2.40082E-03 1.15415E-07 -8.18825E-09

0.00000E+00 -1.19156E+00 -2.40082E-03 4.17792E+00 9.86540E-04 3.86783E-05
 -2.65077E-02 -4.63416E-08 1.15415E-07 -3.71419E-02 7.02869E+01 1.76049E-02
 1.93111E-10 1.06974E-05 -8.18825E-09 -2.07033E-01 -5.16007E-03 1.27162E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 1.94165E-01 -5.56810E-04 -4.45065E-01 -1.19573E-07 -1.73574E-06
 0.00000E+00 5.34482E-05 2.92926E+00 -2.35323E-03 -2.92624E-05 1.16674E-09
 0.00000E+00 -4.45065E-01 -2.35323E-03 1.05382E+00 -6.04777E-03 -7.90358E-06
 0.00000E+00 -1.19573E-07 -2.92624E-05 -1.48245E-02 8.46516E+01 -6.22376E-02
 0.00000E+00 -1.73574E-06 1.16674E-09 -7.97834E-02 6.92636E-02 3.93630E+00

Frequency 1.2000 Period 5.2360

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.61123E-01 -2.79071E-04 -1.15800E+00 -5.03930E-08 3.94493E-07
 0.00000E+00 -4.12432E-04 2.26269E+00 -2.29317E-03 -1.83739E-05 1.03808E-07
 0.00000E+00 -1.15800E+00 -2.29317E-03 4.07686E+00 1.32163E-03 1.66068E-05
 -2.65077E-02 -5.03930E-08 -1.83739E-05 -3.61901E-02 6.59497E+01 2.09897E-02
 1.93111E-10 3.94493E-07 1.03808E-07 -2.00453E-01 -9.00921E-03 1.25844E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 2.69074E-01 -6.10740E-04 -6.07277E-01 -3.74282E-08 -1.07402E-06
 0.00000E+00 4.27407E-05 2.92090E+00 -2.20721E-03 4.67386E-06 8.65228E-08
 0.00000E+00 -6.07277E-01 -2.20721E-03 1.41625E+00 -6.47601E-03 -6.63125E-07
 0.00000E+00 -3.74282E-08 4.67386E-06 -1.28676E-02 8.49500E+01 -6.64520E-02
 0.00000E+00 -1.07402E-06 8.65228E-08 -1.07767E-01 7.43863E-02 5.49459E+00

Frequency 1.3000 Period 4.8332

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.39884E-01 -2.45585E-04 -1.09882E+00 1.02789E-07 1.29577E-05
 0.00000E+00 -4.05822E-04 2.14487E+00 -2.22220E-03 -2.49504E-05 -1.01923E-07
 0.00000E+00 -1.09882E+00 -2.22220E-03 3.91851E+00 1.58808E-03 1.10346E-05
 -2.65077E-02 1.02789E-07 -2.49504E-05 -3.53448E-02 6.24369E+01 2.35600E-02
 1.93111E-10 1.29577E-05 -1.01923E-07 -1.89570E-01 -1.21726E-02 1.22167E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 3.51044E-01 -6.61129E-04 -7.79361E-01 7.42963E-08 5.49377E-07
 0.00000E+00 2.82472E-05 2.88774E+00 -2.04054E-03 5.18871E-05 -2.30414E-08
 0.00000E+00 -7.79361E-01 -2.04054E-03 1.78883E+00 -6.83172E-03 5.10844E-06
 0.00000E+00 7.42963E-08 5.18871E-05 -1.08181E-02 8.45743E+01 -6.98763E-02
 0.00000E+00 5.49377E-07 -2.30414E-08 -1.37022E-01 7.87352E-02 7.23320E+00

Frequency 1.4000 Period 4.4880

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 5.08593E-01 -2.13657E-04 -1.01882E+00 -3.25785E-09 6.81710E-06
 0.00000E+00 -3.91871E-04 2.05187E+00 -2.17696E-03 -2.34218E-05 -4.53724E-08
 0.00000E+00 -1.01882E+00 -2.17696E-03 3.71679E+00 1.76612E-03 4.13891E-05
 -2.65077E-02 -3.25785E-09 -2.34218E-05 -3.44719E-02 5.96068E+01 2.51181E-02
 1.93111E-10 6.81710E-06 -4.53724E-08 -1.75325E-01 -1.44244E-02 1.16348E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 4.34089E-01 -7.05999E-04 -9.47193E-01 -1.30193E-07 2.88556E-06
 0.00000E+00 1.34607E-05 2.83288E+00 -1.86157E-03 2.28629E-05 1.18810E-07

0.00000E+00 -9.47193E-01 -1.86157E-03 2.13818E+00 -7.13000E-03 -5.48000E-05
 0.00000E+00 -1.30193E-07 2.28629E-05 -8.66078E-03 8.36027E+01 -7.27101E-02
 0.00000E+00 2.88556E-06 1.18810E-07 -1.65142E-01 8.24367E-02 9.03764E+00

Frequency 1.5000 Period 4.1888

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.70157E-01 -1.85026E-04 -9.25518E-01 2.73422E-08 -6.46074E-07
 0.00000E+00 -3.71385E-04 1.97970E+00 -2.14808E-03 1.29871E-05 -4.18564E-08
 0.00000E+00 -9.25518E-01 -2.14808E-03 3.49105E+00 1.84683E-03 -1.66238E-05
 -2.65077E-02 2.73422E-08 1.29871E-05 -3.34865E-02 5.73486E+01 2.55797E-02
 1.93111E-10 -6.46074E-07 -4.18564E-08 -1.59137E-01 -1.56527E-02 1.08882E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 5.12553E-01 -7.44711E-04 -1.09830E+00 -8.51577E-08 5.54318E-06
 0.00000E+00 2.54566E-06 2.75918E+00 -1.67516E-03 2.34035E-05 2.55632E-07
 0.00000E+00 -1.09830E+00 -1.67516E-03 2.43673E+00 -7.40532E-03 -6.61707E-06
 0.00000E+00 -8.51577E-08 2.34035E-05 -6.32025E-03 8.21106E+01 -7.53771E-02
 0.00000E+00 5.54318E-06 2.55632E-07 -1.89965E-01 8.58264E-02 1.07921E+01

Frequency 1.6000 Period 3.9270

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 4.27923E-01 -1.60914E-04 -8.26975E-01 3.59680E-08 7.27657E-06
 0.00000E+00 -3.45877E-04 1.92513E+00 -2.12876E-03 -1.75947E-05 1.14833E-07
 0.00000E+00 -8.26975E-01 -2.12876E-03 3.26064E+00 1.83308E-03 3.38152E-05
 -2.65077E-02 3.59680E-08 -1.75947E-05 -3.23513E-02 5.55733E+01 2.49962E-02
 1.93111E-10 7.27657E-06 1.14833E-07 -1.42315E-01 -1.58674E-02 1.00398E+01

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 5.82283E-01 -7.78142E-04 -1.22428E+00 7.93714E-09 -7.61942E-06
 0.00000E+00 -4.81903E-07 2.66935E+00 -1.48298E-03 1.63260E-05 6.56349E-08
 0.00000E+00 -1.22428E+00 -1.48298E-03 2.66791E+00 -7.70662E-03 -6.71827E-05
 0.00000E+00 7.93714E-09 1.63260E-05 -3.68139E-03 8.01662E+01 -7.84400E-02
 0.00000E+00 -7.61942E-06 6.56349E-08 -2.10300E-01 8.94035E-02 1.24036E+01

Frequency 1.7000 Period 3.6960

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 3.84907E-01 -1.41817E-04 -7.29993E-01 1.73041E-09 1.76993E-06
 0.00000E+00 -3.17001E-04 1.88548E+00 -2.11436E-03 -2.05355E-05 1.37424E-07
 0.00000E+00 -7.29993E-01 -2.11436E-03 3.04098E+00 1.73608E-03 -6.84403E-07
 -2.65077E-02 1.73041E-09 -2.05355E-05 -3.10557E-02 5.42093E+01 2.35071E-02
 1.93111E-10 1.76993E-06 1.37424E-07 -1.26139E-01 -1.51765E-02 9.15105E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 6.41018E-01 -8.08173E-04 -1.32140E+00 -6.14858E-08 -1.26915E-05
 0.00000E+00 7.75601E-06 2.56599E+00 -1.28433E-03 7.37808E-06 1.73177E-07
 0.00000E+00 -1.32140E+00 -1.28433E-03 2.82647E+00 -8.08592E-03 -4.89771E-05
 0.00000E+00 -6.14858E-08 7.37808E-06 -6.22678E-04 7.78332E+01 -8.24765E-02
 0.00000E+00 -1.26915E-05 1.73177E-07 -2.25613E-01 9.37186E-02 1.38131E+01

Frequency 1.8000 Period 3.4907

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 3.43356E-01 -1.27628E-04 -6.39345E-01 1.59276E-08 1.99546E-06

0.00000E+00 -2.86197E-04 1.85852E+00 -2.10207E-03 1.29609E-05 3.23686E-08
 0.00000E+00 -6.39345E-01 -2.10207E-03 2.84211E+00 1.57129E-03 -2.82490E-05
 -2.65077E-02 1.59276E-08 1.29609E-05 -2.96002E-02 5.31960E+01 2.12916E-02
 1.93111E-10 1.99546E-06 3.23686E-08 -1.11294E-01 -1.37354E-02 8.27004E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 6.88166E-01 -8.37104E-04 -1.38973E+00 9.25790E-08 -1.00615E-05
 0.00000E+00 2.99070E-05 2.45156E+00 -1.07766E-03 1.56568E-05 -3.54802E-08
 0.00000E+00 -1.38973E+00 -1.07766E-03 2.91601E+00 -8.59221E-03 -7.72243E-05
 0.00000E+00 9.25790E-08 1.56568E-05 2.96411E-03 7.51740E+01 -8.80449E-02
 0.00000E+00 -1.00615E-05 -3.54802E-08 -2.36064E-01 9.92926E-02 1.49951E+01

Frequency 1.9000 Period 3.3069

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 3.04691E-01 -1.17838E-04 -5.57768E-01 2.50789E-08 -4.76400E-06
 0.00000E+00 -2.54478E-04 1.84226E+00 -2.09001E-03 -4.40288E-06 2.39803E-08
 0.00000E+00 -5.57768E-01 -2.09001E-03 2.66900E+00 1.35408E-03 -5.10308E-06
 -2.65077E-02 2.50789E-08 -4.40288E-06 -2.79752E-02 5.24803E+01 1.85221E-02
 1.93111E-10 -4.76400E-06 2.39803E-08 -9.81861E-02 -1.17003E-02 7.43103E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 7.24266E-01 -8.67301E-04 -1.43176E+00 2.84455E-07 -1.13780E-05
 0.00000E+00 6.82059E-05 2.32838E+00 -8.61554E-04 6.88916E-06 -2.01708E-07
 0.00000E+00 -1.43176E+00 -8.61554E-04 2.94514E+00 -9.27052E-03 -6.38875E-05
 0.00000E+00 2.84455E-07 6.88916E-06 7.17045E-03 7.22443E+01 -9.56329E-02
 0.00000E+00 -1.13780E-05 -2.01708E-07 -2.42237E-01 1.06620E-01 1.59493E+01

Frequency 2.0000 Period 3.1416

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 2.69635E-01 -1.11787E-04 -4.86377E-01 -1.21400E-08 4.00608E-06
 0.00000E+00 -2.22330E-04 1.83495E+00 -2.07692E-03 -1.42551E-05 -2.10122E-08
 0.00000E+00 -4.86377E-01 -2.07692E-03 2.52294E+00 1.09551E-03 1.23884E-05
 -2.65077E-02 -1.21400E-08 -1.42551E-05 -2.61502E-02 5.20183E+01 1.53229E-02
 1.93111E-10 4.00608E-06 -2.10122E-08 -8.69492E-02 -9.19474E-03 6.65398E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 7.50463E-01 -9.00994E-04 -1.45113E+00 -7.98699E-08 -7.21045E-06
 0.00000E+00 1.24783E-04 2.19857E+00 -6.35242E-04 9.35745E-06 7.04614E-08
 0.00000E+00 -1.45113E+00 -6.35242E-04 2.92448E+00 -1.01655E-02 -1.31877E-04
 0.00000E+00 -7.98699E-08 9.35745E-06 1.20795E-02 6.90986E+01 -1.05722E-01
 0.00000E+00 -7.21045E-06 7.04614E-08 -2.44905E-01 1.16170E-01 1.66908E+01

Frequency 2.0944 Period 3.0000

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 2.40075E-01 -1.08921E-04 -4.28371E-01 7.27120E-09 -4.36328E-06
 0.00000E+00 -1.91561E-04 1.83484E+00 -2.06220E-03 -1.36969E-05 3.77036E-08
 0.00000E+00 -4.28371E-01 -2.06220E-03 2.40885E+00 8.18918E-04 1.18687E-05
 -2.65077E-02 7.27120E-09 -1.36969E-05 -2.41859E-02 5.17779E+01 1.19673E-02
 1.93111E-10 -4.36328E-06 3.77036E-08 -7.81076E-02 -6.46188E-03 5.98637E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 7.67331E-01 -9.37625E-04 -1.45212E+00 -6.96893E-10 -1.93294E-05

0.00000E+00 1.97442E-04 2.07166E+00 -4.11667E-04 -1.82434E-05 -7.31082E-08
 0.00000E+00 -1.45212E+00 -4.11667E-04 2.86882E+00 -1.12486E-02 -1.39050E-04
 0.00000E+00 -6.96893E-10 -1.82434E-05 1.74433E-02 6.59744E+01 -1.17997E-01
 0.00000E+00 -1.93294E-05 -7.31082E-08 -2.44796E-01 1.27652E-01 1.72163E+01

Frequency 2.9778 Period 2.1100

Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 9.42199E-02 6.30753E-05 -1.94860E-01 7.72823E-07 4.04350E-07
 0.00000E+00 1.17316E-02 7.37076E-01 -2.84660E-04 3.86785E-06 -1.35769E-08
 0.00000E+00 -1.94860E-01 -2.84660E-04 2.03595E+00 -1.15635E-01 -3.01280E-06
 -2.65077E-02 7.72823E-07 3.86785E-06 7.71702E-01 4.40842E+01 -1.25307E+00
 1.93111E-10 4.04350E-07 -1.35769E-08 -5.88704E-02 1.16866E+00 2.44838E+00

Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 7.16909E-01 -3.22713E-04 -1.06373E+00 -4.47905E-06 -7.38966E-07
 0.00000E+00 1.33271E-02 9.32851E-01 -8.90062E-05 3.49237E-06 6.11464E-08
 0.00000E+00 -1.06373E+00 -8.90062E-05 1.69757E+00 -1.35274E-01 -1.08780E-05
 0.00000E+00 -4.47905E-06 3.49237E-06 -5.63256E-01 2.85336E+01 -1.54889E+00
 0.00000E+00 -7.38966E-07 6.11464E-08 -2.16567E-01 1.38018E+00 1.71664E+01

Frequency 6.2832 Period 1.0000

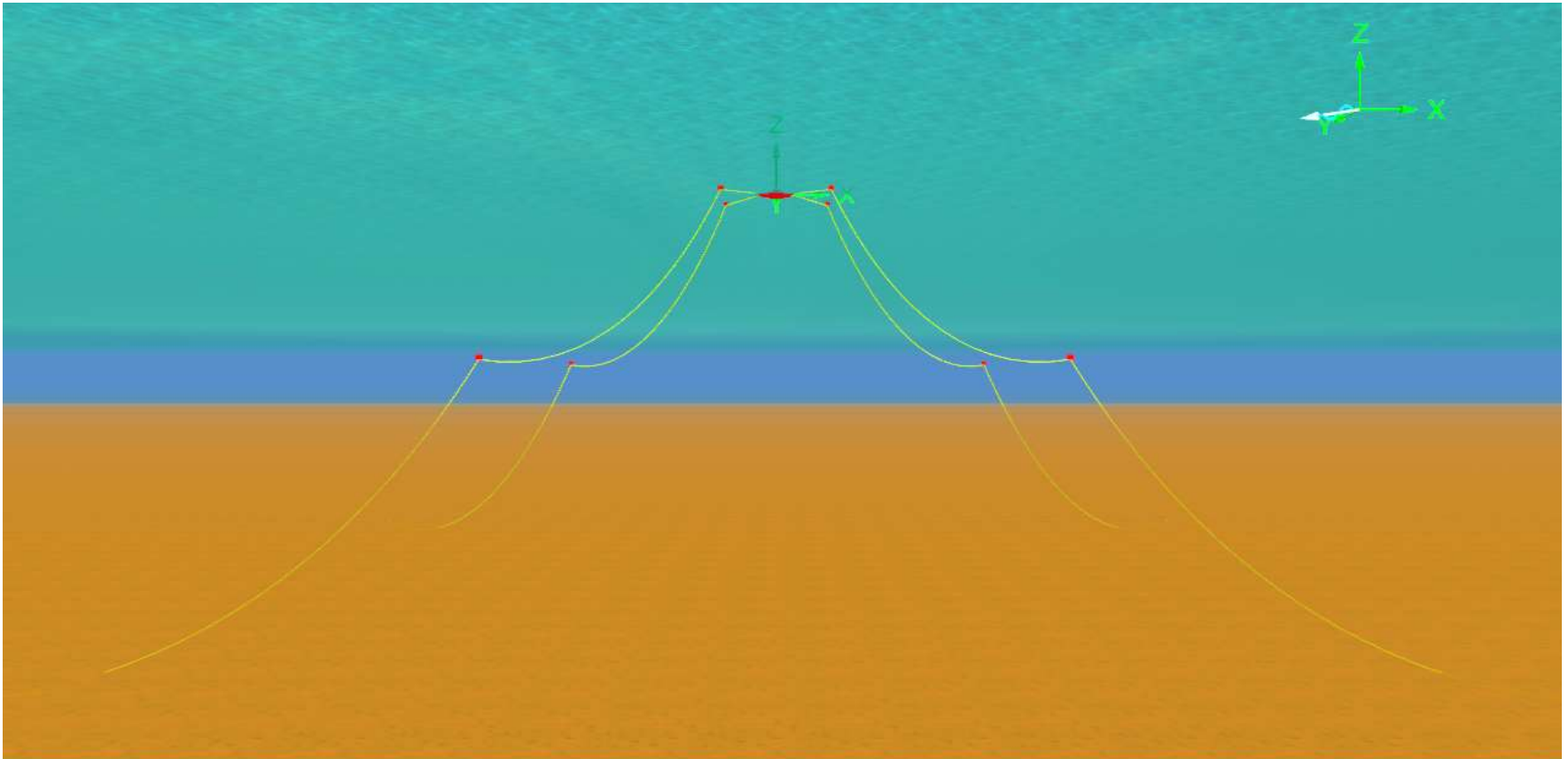
Added Mass

2.67484E-02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 -2.65077E-02 1.93111E-10
 0.00000E+00 9.34006E-02 7.93763E-05 -3.23413E-01 2.13037E-08 6.08731E-07
 0.00000E+00 -4.90427E-04 2.58158E+00 -4.49944E-03 7.87853E-06 -8.35310E-09
 0.00000E+00 -3.23413E-01 -4.49944E-03 2.49737E+00 5.64680E-03 -4.22559E-06
 -2.65077E-02 2.13037E-08 7.87853E-06 -8.06658E-02 7.06059E+01 6.69039E-02
 1.93111E-10 6.08731E-07 -8.35310E-09 -1.03178E-01 -5.71535E-02 1.91627E+00

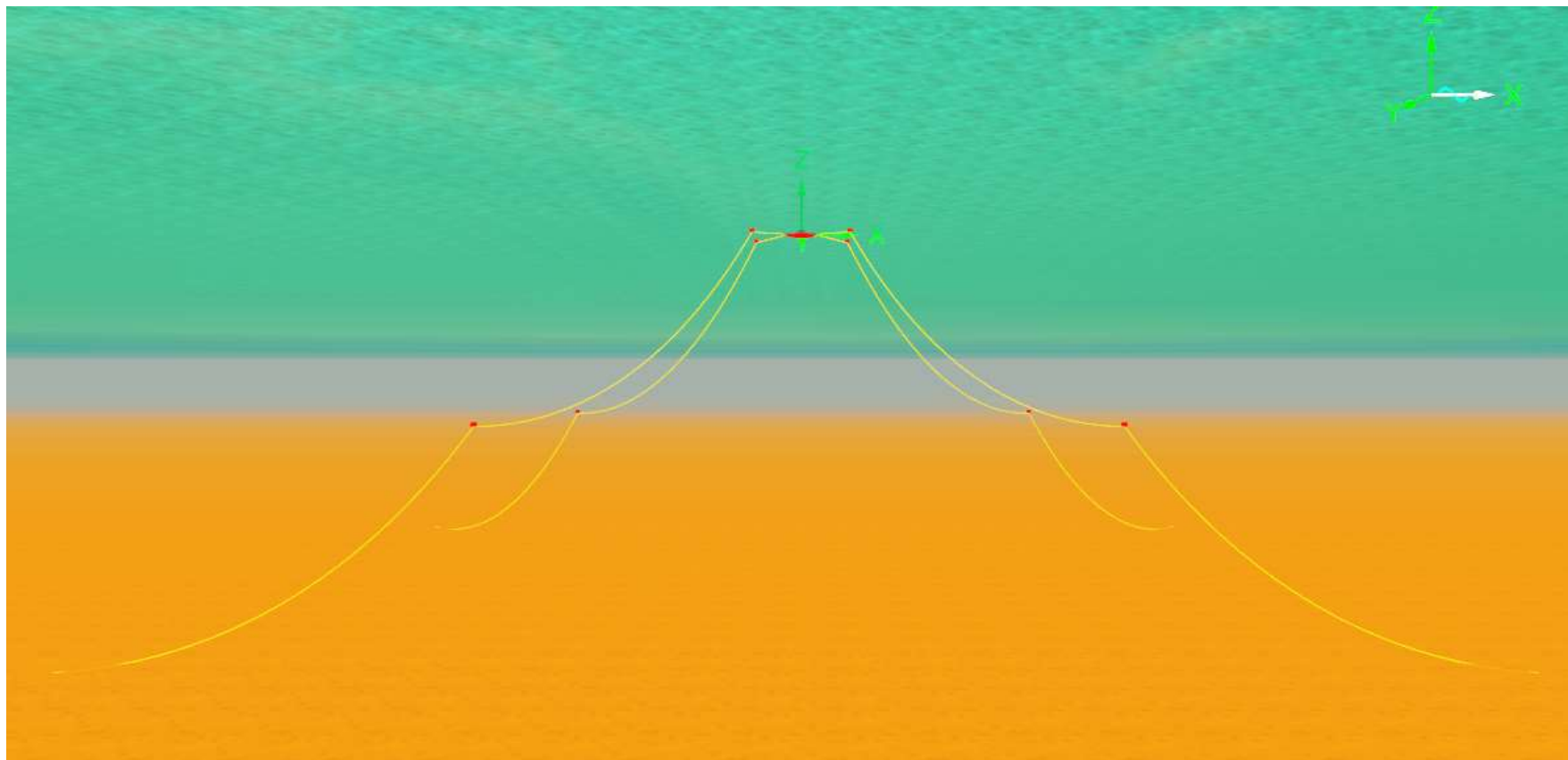
Damping

0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 2.54645E-01 -3.82679E-04 -1.83354E-01 -5.71836E-08 -6.99237E-07
 0.00000E+00 -1.27985E-04 5.93552E-02 2.44571E-04 7.60044E-07 1.02410E-07
 0.00000E+00 -1.83354E-01 2.44571E-04 3.19752E-01 -2.52410E-03 6.05822E-07
 0.00000E+00 -5.71836E-08 7.60044E-07 2.58664E-03 3.33663E+00 -2.00479E-02
 0.00000E+00 -6.99237E-07 1.02410E-07 -1.00242E+00 3.69194E-02 6.52105E+00

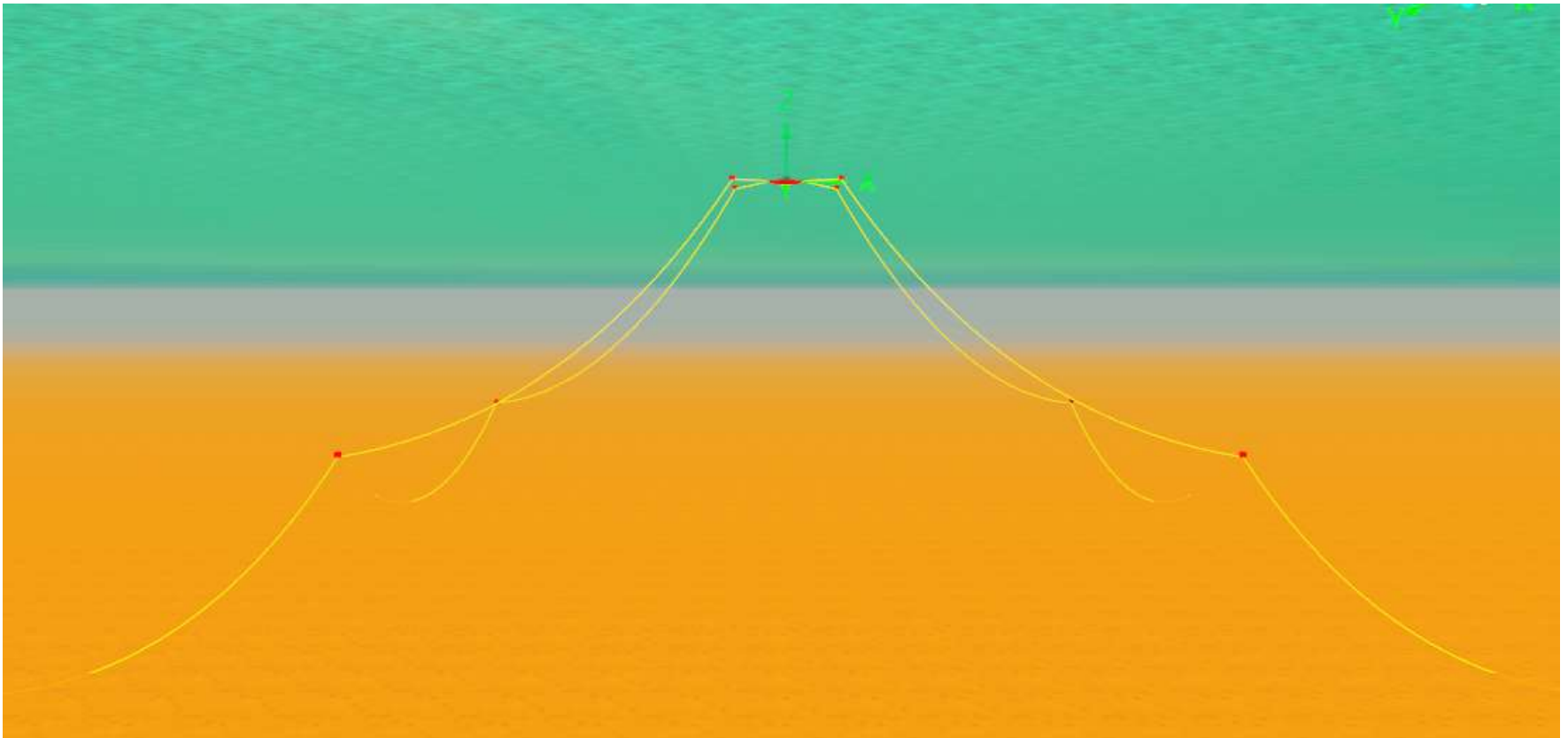
Variasi 40%



Variasi 50%



Variasi 60%



POLYETHYLENE

Diameter		Standard coils - 220m	
mm	Inc C	Weight (kg)	MB L Kg
6	3/4	4	400
8	1	7	700
10	1 1/4	11	1090
12	1 1/2	16	1540
14	1 3/4	21	2090
16	2	28	2800
18	2 1/4	35	3500
20	2 1/2	44	4300
22	2 3/4	53	5100
24	3	65	6100
26	3 1/4	75	7000
28	3 1/2	86	8000
30	3 3/4	100	9150
32	4	115	10400
36	4 1/2	145	13000
40	5	175	15600
44	5 1/2	209	18800
48	6	253	22400
52	6 1/2	295	26200
56	7	348	30200
60	7 1/2	396	34200
64	8	449	38600
68	8 1/2	506	43500
72	9	572	48500
80	10	702	59700

All dimensions are approximate

Construction for PE Mono:

Twisted 3 or 4 strand ropes

Plated 8 strand ropes

Very popular for commercial fishing and marine applications.

Other Information

Density: 0.95

Melts at: 285°F

Stretch: low elongation

Chemical resistance: Resistant to most acids, and alkalis.

Very good abrasion resistance. Not as strong as Polypropylene.

Does not absorb water.

NYLON

Diameter		Standard coils - 220m	
mm	Inc C	Weight (kg)	MB L Kg
6	3/4	5.2	750
8	1	9.3	1350
10	1 1/4	14.3	2080
12	1 1/2	20.6	3000
14	1 3/4	28	4100
16	2	36.5	5300
18	2 1/4	46	6700
20	2 1/2	57	8300
22	2 3/4	69	10000
24	3	82	12000
26	3 1/4	97	13900
28	3 1/2	112	15800
30	3 3/4	129	17900
32	4	146	20000
36	4 1/2	184	24800
40	5	228	30000
44	5 1/2	276	35800
48	6	330	42000
52	6 1/2	384	48800
56	7	446	56000
60	7 1/2	512	63800
64	8	582	72000
68	8 1/2	660	81000
72	9	738	90000
80	10	911	110000

All dimensions are approximate

Nylon ropes available:

Twisted 3 or 4 strand

Plates 8 strand

Other Information

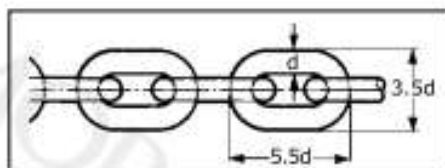
Density: 1.14

Melts at: 480°F

Stretch: High elasticity. This means that a large amount of energy is stored within the rope.

Precautions must be taken.

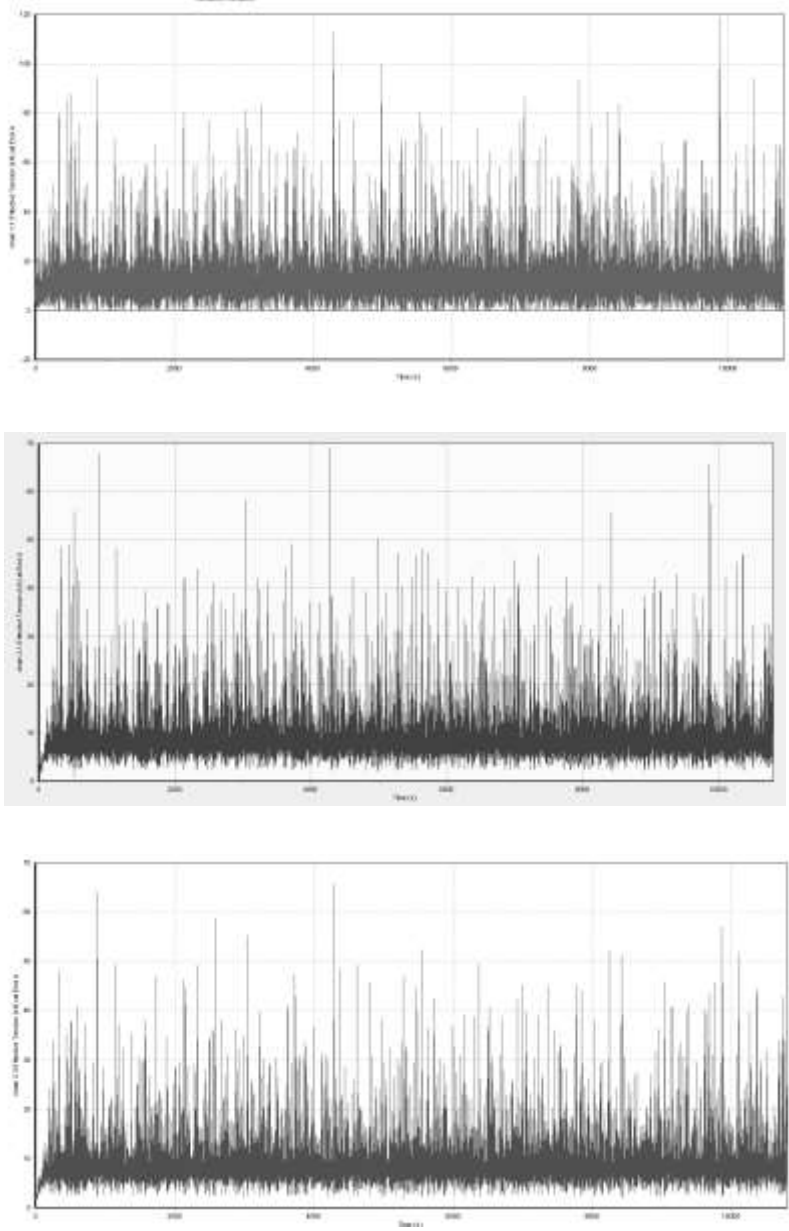
Chemical resistance: At normal temperatures good resistance to alkalis. Limited resistance to acids.

Medium Link (Mild steel)

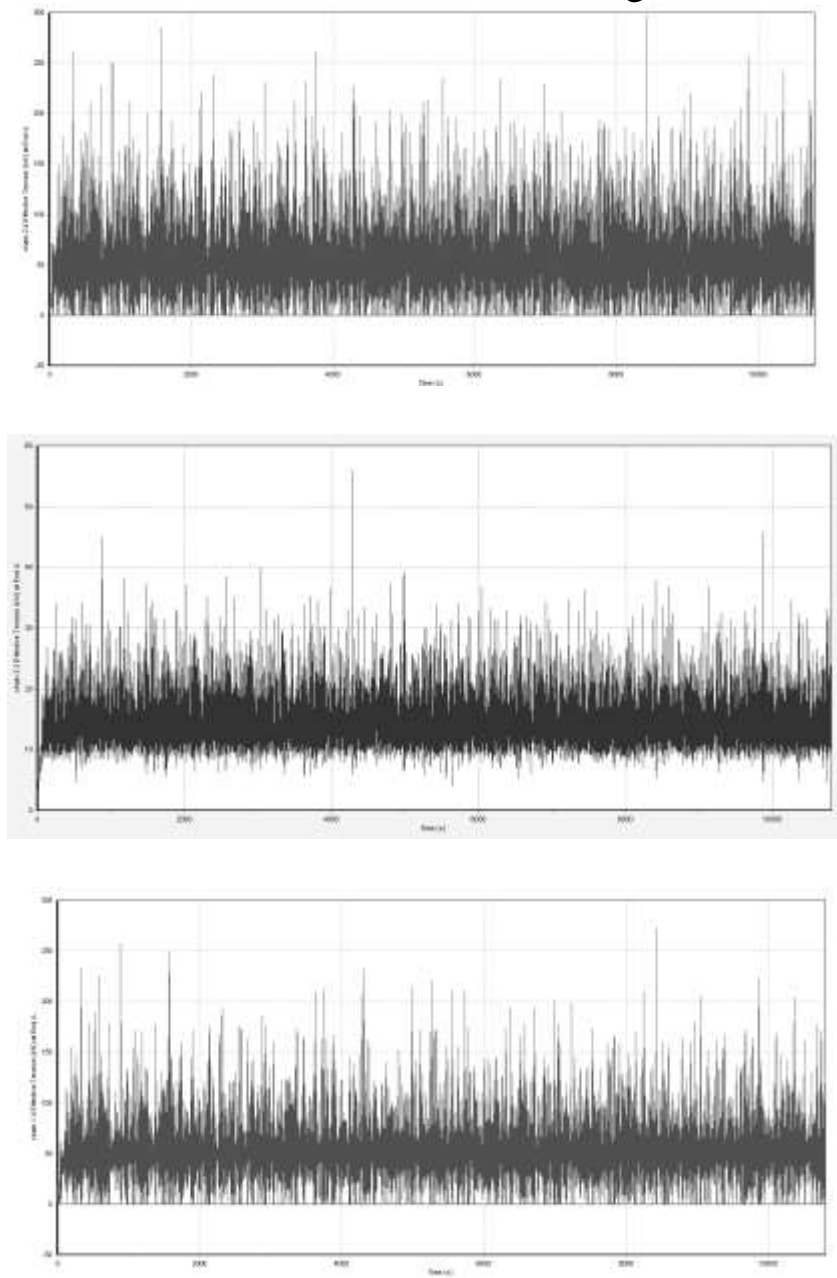
Size		Weight kg/m	Proof Load kg	Minimum Breaking Load kg
mm	inches			
13	1/2	3.50	3200	6400
16	5/8	5.20	4800	9600
19	3/4	7.40	6800	13600
22	7/8	10.00	9100	18200
25	1	12.80	11800	23600
28	1 1/8	16.50	14800	29500
32	1 1/4	21.00	19400	38700
34	1 3/8	23.50	21800	43600
38	1 1/2	29.50	27300	54600
42	1 5/8	36.00	33300	66600
44	1 3/4	39.50	36600	73200
48	1 7/8	47.00	43500	87000
51	2	53.00	49200	98300

All dimensions are approximate

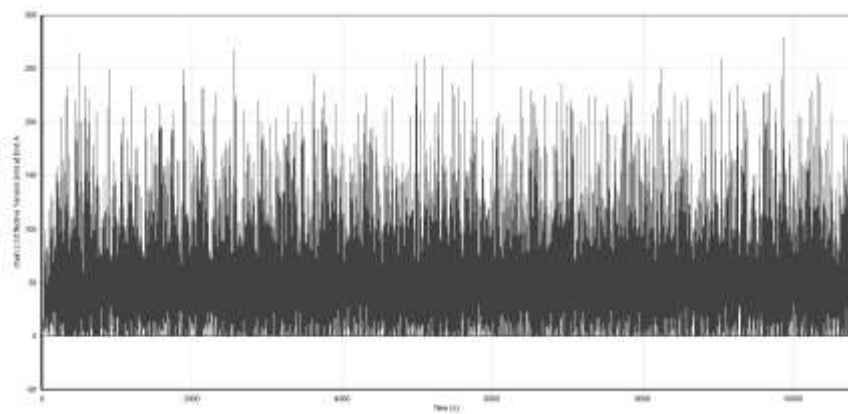
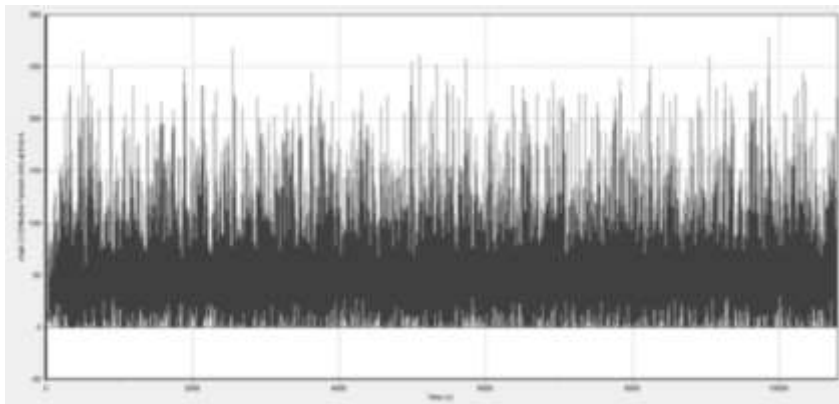
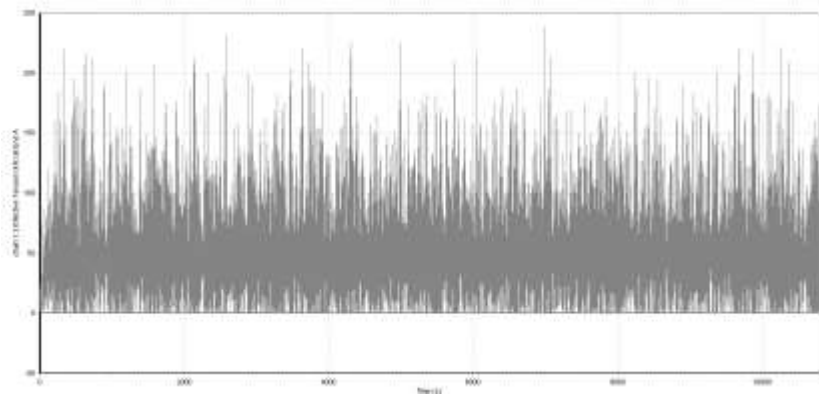
Maximum Tension at heading 0°



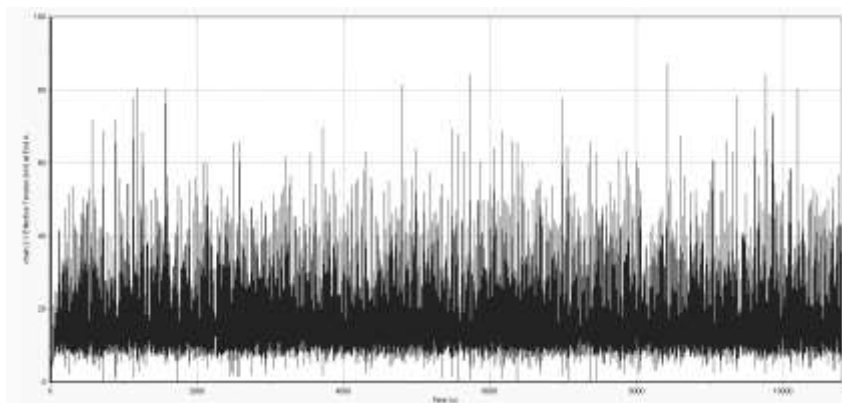
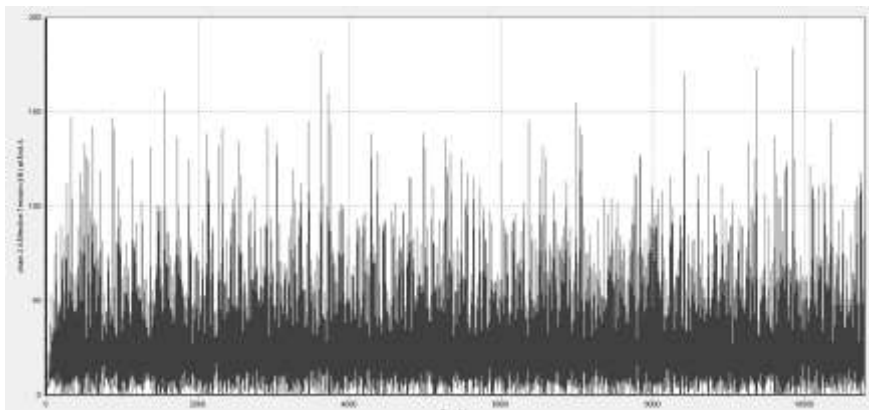
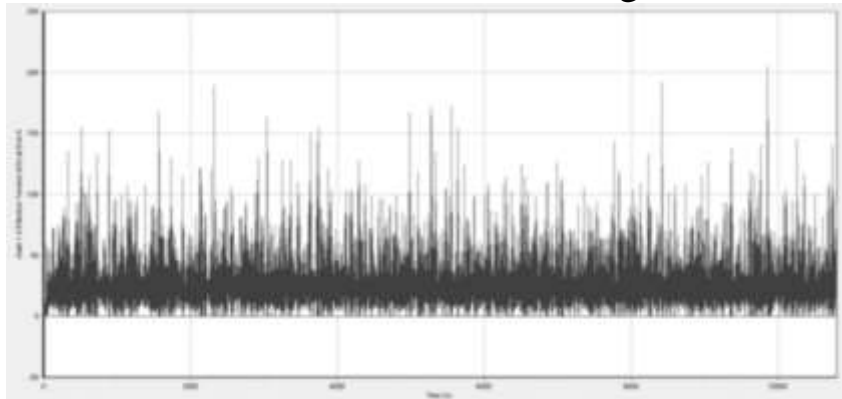
Maximum Tension at heading 45°



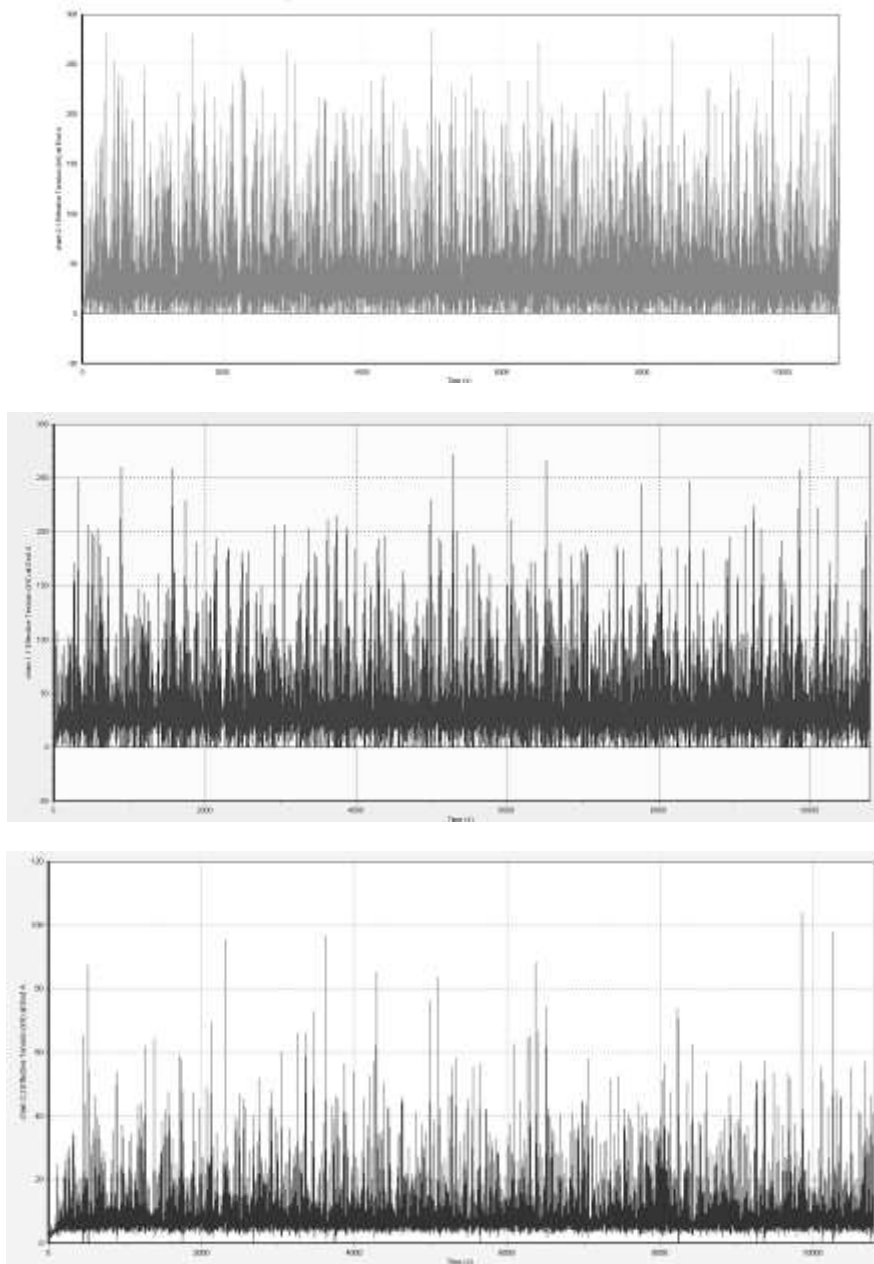
Maximum Tension at heading 90°



Maximum Tension at heading 135°



Maximum Tension at heading 180°



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Favi Ainin Fitria. Lahir di Lamongan, 17 Juli 1996. Putri sulung dari Bapak M. Nur Hasyim dan Ibu Siswati. Penulis menuntaskan pendidikan di SDN Kedung Waras 1 (2002-2008), SMPN 1 Modo (2008-2011), SMAN 1 Babat (2011-2014), dan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Penulis pernah mengemban amanah sebagai staff Dept. Inovasi Karya, Lembaga Dakwah Jurusan dan menjadi staff Labolatorium Marine Manufacturing and Design (MMD) bidang finance. Selain beraktivitas di bidang

akademik dan managerial, penulis gemar mengikuti kajian keagamaan di berbagai kota di Jawa Timur. Penulis juga gemar mendesain dan tertarik belajar lebih tentang desain offshore.

Motto: *Don't judge a book by its cover*

Email : ainin.favi@gmail.com